

AFRIQUE

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE
DE FRANCE

7^e SÉRIE, TOME III

N^o 2

P. 121-256

Périodique bimestriel publié avec le concours du Centre national de la recherche scientifique

PARIS
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ

28, rue Serpente, 6^e

1961

JANVIER 1962

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE

FONDÉE LE 17 MARS 1830.

Etablissement d'Utilité publique, reconnu par Ordonnance du 3 avril 1832.

Extraits des Statuts.

(Conditions d'admission.)

ARTICLE I. — L'Association dite « Société géologique de France », fondée le 17 mars 1830, a pour objet de concourir à l'avancement de la Géologie en général, et particulièrement de faire connaître le sol de la France, tant en lui-même que dans ses rapports avec les Arts industriels et l'Agriculture.

La durée de la Société est illimitée. Elle a son siège social à Paris.

ARTICLE II. — La Société contribue aux progrès de la Géologie par des débats, des publications et par des encouragements (Prix et Fondations).

La Société tient ses séances ordinaires à Paris; en outre, elle peut tenir une ou plusieurs séances extraordinaires dans une région ou sur un sujet qui aura été préalablement déterminé par le Conseil.

La Société publie : un *Compte rendu sommaire des Séances* et un *Bulletin* distribués gratuitement aux membres; des *Mémoires* qui ne sont pas distribués gratuitement aux membres.

La Société forme une Bibliothèque.

ARTICLE III. — Le nombre des membres de la Société est illimité; les Français et les Étrangers peuvent en faire partie. Il n'existe pas de différences entre les membres.

Pour faire partie de la Société, il faut s'être fait présenter dans une de ses séances par deux membres de la Société qui auront signé la présentation, et avoir été proclamé membre dans la séance suivante.

Extraits du Règlement.

(Publications.)

N° 12. — Tous les travaux destinés à l'impression doivent être inédits et avoir été présentés en séance.

N° 13. — L'insertion dans les publications de la Société des travaux présentés par les membres, ou éventuellement par des auteurs étrangers à la Société, est toujours subordonnée à l'avis de la Commission compétente.

N° 14. — Les manuscrits des communications déposés au Secrétariat et non encore publiés ne peuvent être communiqués ou remis, en dehors des membres des Commissions compétentes et des rapporteurs, qu'à leurs auteurs ou aux personnes qu'ils auront autorisées par écrit à en prendre connaissance.

N° 15. — La langue française est seule admise dans les publications de la Société.

N° 17. — L'ensemble des notes par année, d'un même auteur, comptées du 1^{er} avril au 31 mars suivant, ne peut dépasser le total de 16 pages¹, la planche photographique équivalant à 4 pages de texte. Le Conseil peut, par décision spéciale, autoriser la publication de notes plus longues.

1. A la suite du changement de format et de la reproduction de photographies en simili-gravure dans le texte, le Conseil (séance du 2 février 1959) a établi l'équivalence pour le total des notes de chaque auteur à 10 pages du nouveau format; 1 planche en phototypie équivaut à 4 pages de texte; 1 page de simili à 2 pages de texte; les figures en simili, intercalées dans le texte, à 3 fois leur surface.

Avantages accordés aux membres.

Les membres de la Société reçoivent gratuitement le *Compte rendu sommaire des Séances* et le *Bulletin* (statuts, II).

Ils peuvent acheter à la Société : avec une remise de 25 % les *Comptes rendus sommaires*, les *Bulletins*, la *Bibliographie*; avec une remise de 20 % les *Mémoires* de Géologie, de Paléontologie et ceux de la Nouvelle série par mémoires séparés.

Les membres peuvent utiliser le prêt des livres à domicile de la Bibliothèque (sauf les cartes, les traités, les ouvrages rares ou nouvellement présentés).

Cotisation 1961 et 1962 : 35 NF (3 500 fr). Étranger : 40 NF (4 000 fr).

Pour tous renseignements, achats et abonnements, s'adresser impersonnellement au Secrétaire de la Société, 28, rue Serpente, Paris, VI^e.

Chèques postaux : Paris 173-72. Téléphone : Dan. 90-61.

Subsidence différentielle de la plate-forme épicontinentale carbonifère dans le bassin d'Abadla (région de Colomb-Béchar)

par Paul DELEAU *.

Sommaire. — Les recherches d'un gîte de charbon sur les bords nord-ouest, nord, nord-est et est du bassin d'Abadla ont apporté des documents détaillés sur la stratigraphie et la sédimentation du Westphalien C supérieur et du Westphalien D dans cette région.

Le bassin d'Abadla est un grand synclinalorium subdivisé en bassins secondaires. Sur le bord nord, les cuvettes synclinales de Zékakat, de Sfaïa, du Ksiksou sont séparées par des relèvements anticlinaux. La forêt houillère a présenté un maximum de pérennité sur les bombements anticlinaux où l'on trouve des veines productives à plusieurs sillons. Ces anticlinaux formaient ainsi des hauts-fonds au Carbonifère. Cette curieuse prédestinée est d'une grande importance pratique car les recherches doivent de préférence être effectuées sur les bombements anticlinaux où les veines de charbon présentent leur maximum d'épaisseur.

REMARQUES SUR LA SÉDIMENTATION. — Il est maintenant universellement admis qu'une épaisseur importante de sédiments détritiques (plusieurs centaines de mètres), représentant des dépôts à faible profondeur, n'a pu se constituer sur une aire de sédimentation, bassin, fosse ou plate-forme épicontinentale que par une descente, un affaissement de l'aire de sédimentation.

Ce phénomène de la subsidence¹ est éminemment variable et cette variabilité est traduite par les différences que présentent les épaisseurs de sédiments contemporains sur une même aire de sédimentation.

De plus, la nature des sédiments, détritiques ou terrigènes (vasières avec ou sans herbiers), organogènes, renseigne d'une part, sur la profondeur de l'aire de sédimentation et d'autre part, sinon sur le relief du continent soumis à l'érosion, mais tout au moins sur un rajeunissement possible de ce continent émergé, générateur des sédiments détritiques et terrigènes. Nous avons démontré que les horizons importants de conglomérats et de grès à stratification entrecroisée des cyclothems de la série houillère de la région de Colomb-Béchar (Westphaliens marin et continental) marquaient une coupure dans la sédimentation, et qu'ils résultèrent d'un abaissement du niveau de base des cours d'eau du continent soumis à l'érosion. Ainsi les montées du

continent faisaient, en quelque sorte, équilibre aux enfoncements de la plate-forme épicontinentale de sédimentation².

LE BASSIN D'ABADLA (fig. 1). — Nous allons, au cours de cette étude, examiner la sédimentation au Westphalien C supérieur et au Westphalien D dans le bassin d'Abadla, et essayer de montrer les relations pouvant exister dans ce cas particulier entre la tectonique et la sédimentation.

Le bassin d'Abadla³, dont le centre est à une centaine de kilomètres au SW de Colomb-Béchar, dessine un immense quadrilatère dont seuls les bords nord-ouest, nord, nord-est et est sont connus. Les bords sud, sud-ouest et ouest disparaissent sous le Quaternaire. Le grand axe NW-SE peut mesurer au minimum 100 km, l'axe N-S 80 km et la superficie doit atteindre et dépasser 4 000 km².

* Note présentée à la séance du 20 mars 1961.

1. PRUVOST P. (1930) : Sédimentation et subsidence. Livre jubilaire Soc. géol. de France, t. II, p. 545.

2. DELEAU P. (1958) : Sédimentation et tectonique. 4^e Congr. intern. Carbonifère, Heerlen, t. 1, p. 101-106.

3. DELEAU P. (1951) : Les bassins houillers du Sud-Oranais. Bull. Serv. Carte géol. Algérie, n° 20, livre 1. — (1952) : La région de Colomb-Béchar. XIX^e Congr. géol. intern. Alger, Monogr. région., 1^{re} sér., n° 8.

C'est un synclinorium que compartimentent :

- 1) des anticlinaux sensiblement ENE-WSW prolongeant les « torsions » du Djebel Béchar, soulèvement subméridien à torsions ENE-WSW ; anticlinal de Menouarar-Mébidiat ; anticlinal du Djebel Arlal ; anticlinal de Taghit.

- 2) des anticlinaux subméridiens : anticlinal de Gueltet ben Salah ; relèvement anticlinal du Mennouna ; anticlinal de Srouna.

Ce quadrillage a déterminé, sur les bords nord et nord-est, des bassins ou cuvettes secondaires. D'Ouest en Est, nous avons : Srouna, Zékakat, Sfaïa, Chébania, Hassi Retma, Menouarar, Arlal. La plus importante, d'axe NW-SE, est celle de Chébania-Hassi Retma entre l'anticlinal de Gueltet ben Salah à l'Ouest et l'anticlinal de Menouarar à l'Est. Les bords nord-ouest, nord, nord-est et est du bassin d'Abadla sont mainte-

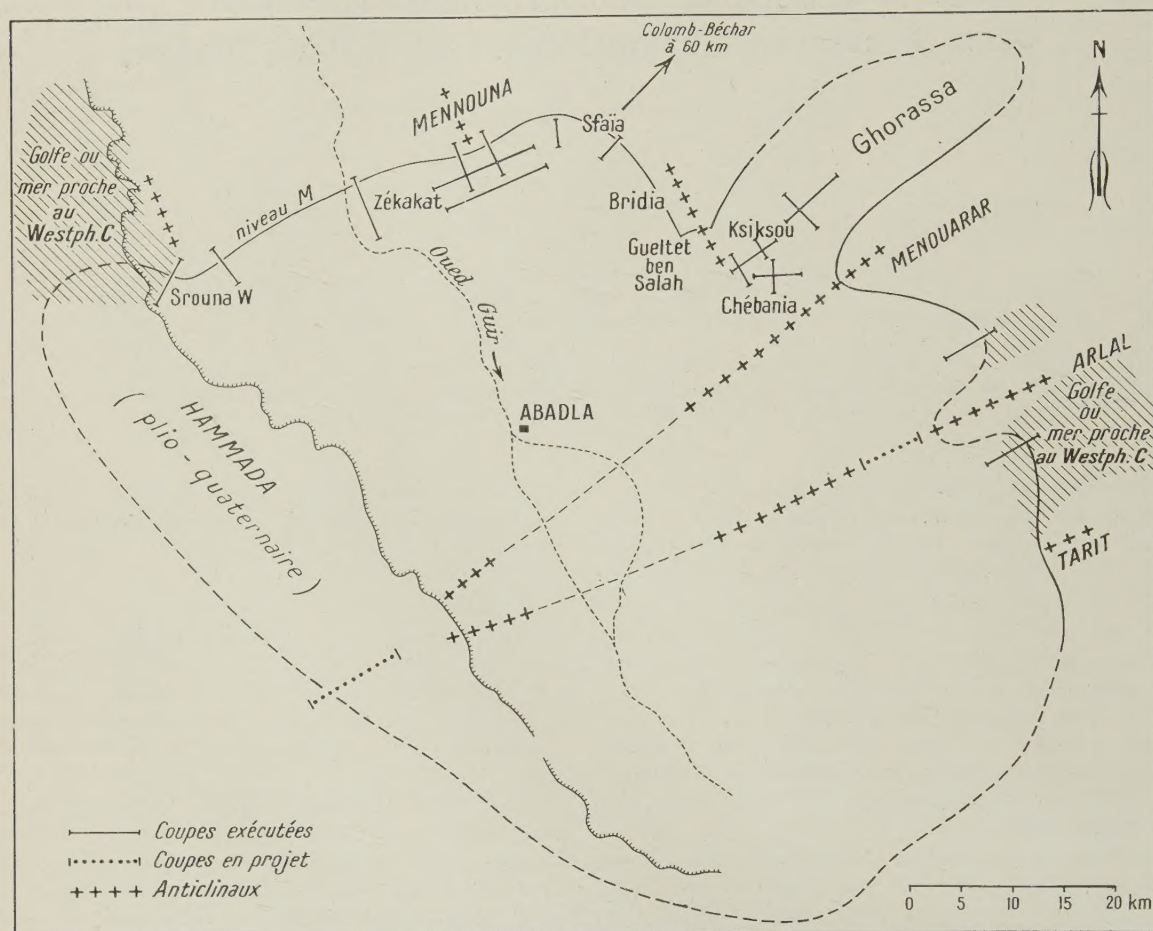


FIG. 1. — Bassin d'Abadla.

nant particulièrement bien connus grâce aux recherches de charbon.

LES RECHERCHES. — Les recherches⁴ d'un gîte de charbon exploitable ont été réalisées en partant des affleurements connus sur les bords nord, nord-est et est, suivant un grand arc de cercle. Des coupes longitudinales par sondages ont été exécutées dans les cuvettes citées précé-

demment. Puis, lorsque le gisement est apparu favorable, des sondages de jalonnement ont

4. Ces recherches ont été entreprises dans le cadre des Houillères du Sud-Oranais, grâce à la ténacité de son président M. Yrisou et de son directeur général M. Thomas, avec la collaboration du Service de la Carte géologique et l'appui de son directeur, M. l'Ingénieur général des mines Bétier. Les crédits ont été accordés par le Bureau industriel africain. Les programmes de recherches que nous élaborions avec M. Thomas étaient, avant leur exécution, approuvés par ce Bureau.

permis le tracé de coupes transversales, notamment de Zékakat à Sfaïa et à Ksiksou, en comprenant en particulier le bombement anticlinal de Mennouna entre Zékakat et Sfaïa.

Les sondages ont permis la reconnaissance des Westphaliens C et D recouverts généralement d'un manteau quaternaire. Dans cette recherche, où l'étude de la sédimentation était d'une importance fondamentale, les corrélations entre les différentes cuvettes de sédimentation ont été établies grâce à des niveaux repères relevés soit sur les affleurements, soit dans des sondages pilotes entièrement carottés :

— niveaux marins de la base du Westphalien C ;

— niveaux lacustres du Westphalien C et du Westphalien D ;

— toit de veines avec massif de végétation caractéristique, en particulier à *Neuropteris tenuifolia* au toit de la veine Ksiksou à l'Ouest ;

— bancs de grès repères avec conglomérats.

Nous rappelons ici l'échelle stratigraphique des terrains rencontrés, de haut en bas :

— Couches rouges, alternance de grès et d'argilites rouges du Carbonifère supérieur indéterminé, probablement stéphanien avec *Anthracomya prolifera* et *Estheria limbata*.

— Westphalien D :

• calcaires lacustres de Chébania ;

• niveau à *Carbonicola* ;

• un faisceau de trois principales couches de houille : 1¹WD, h²WD, h³WD.

— Zone de passage du Westphalien C au Westphalien D, comprenant le banc de grès T₉ et son conglomérat-repère.

— Westphalien C supérieur entièrement continental comprenant en particulier la veine Ksiksou exploitable sur la majeure partie du bassin et particulièrement caractérisée entre Zékakat et la région même de Ksiksou.

— Westphalien C supérieur à trois niveaux marins (1, 2, 3) comprenant encore des couches exploitables à Zékakat et à Sfaïa.

— Le niveau marin M de calcaire coralligène, base du Westphalien C supérieur, surmontant le Westphalien C inférieur presque entièrement marin et où l'on trouve les derniers *Anthraceras aegiranum*.

ÉPAISSEURS DES WESTPHALIENS C SUPÉRIEUR ET D ET NIVEAUX MARINS REPÈRES. — Le tableau de corrélation (fig. 2) fait apparaître les variations sensibles de ces épaisseurs, minimale au Nord-Ouest à Srouna (450 m), à l'Est dans le synclinal Arlal (275 m), et maximale au centre à Sfaïa (725 m), pour l'ensemble du Westphalien C supérieur et du Westphalien D.

Ces différences d'épaisseur correspondent à une sédimentation différente.

Les épaisseurs minimales tant au Nord-Ouest qu'à l'Est correspondent à une influence marine prépondérante pour le Westphalien C supérieur.

Les niveaux marins 1, 2 et 3, dont l'épaisseur moyenne à Zékakat, à Sfaïa et au Ksiksou, comme dans le bassin de Béchar d'ailleurs, ne dépasse guère une dizaine de centimètres, atteignent 3 et 5 m. Ce sont des marnes schisteuses à lentilles de calcaires oolithiques à Fusulinidés⁵.

La faune elle-même est différente. Les niveaux marins de faible épaisseur sont caractérisés en faciès schisteux uniquement par des *Myalina* et des Lingules, quelques rares écailles de Poissons (Ganoïdes) et en faciès gréseux par des *Aviculopecten*, faune d'un plateau continental dont la profondeur ne dépassait guère 20 à 30 m.

Dans les niveaux de 3 à 5 m d'épaisseur de Srouna et du synclinal d'Arlal, les Brachiopodes abondent, en particulier le *Choristites mosquensis* avec des Réticulés communs dans le Westphalien marin (Moscovien) sous-jacent. Les Brachiopodes sont associés à des Bellérophons et les tiges d'Encrines abondent. Ces caractères sont habituellement ceux des niveaux franchement marins du Westphalien C inférieur. La profondeur du plateau continental a dû se maintenir au moins vers 50 et 60 m et même davantage.

De plus, entre ces niveaux marins épais 3, 2, 1, aucune trace d'émersion n'apparaît. Les passées charbonneuses et leur toit à fossiles d'eau douce (*Anthracomya wardi*) ont disparu. Les 50 à 70 m qui renferment ces niveaux fossilifères à Brachiopodes, *Choristites*, *Derbya* et Encrines, pourraient être presque entièrement marins et les niveaux fossilifères marquer une profondeur maximale, favorable au développement des fonds à Brachiopodes et Bellérophons et des prairies à Encrines.

Ainsi la mer semble s'être maintenue tant au Nord-Ouest, vers le Tafilalet, qu'à l'Est, vers la Zousfana jusqu'au 3^e niveau marin ou dernière incursion marine au Westphalien C supérieur. Les golfes de Srouna et de l'Arlal marquent une persistance de notre mer du Westphalien C supérieur qui se serait retirée à la fois vers le Nord-Ouest et vers le Nord-Est.

AIRE DE SÉDIMENTATION MAXIMALE. — Voyons maintenant l'aire de sédimentation où les épaisseurs sont maximales : Zékakat, Sfaïa, région de Ksiksou, où les niveaux 1, 2, 3, bien caractéristiques, à *Myalina*, *Aviculopecten* et Lingules présentent toujours une épaisseur inférieure à 10 cm.

5. DELEAU P. et MARIE P. (1958) : Les Fusulinidés du Carbonifère de la région de Colomb-Béchar. *Bull. Serv. Carte géol. Algérie, Trav. Collab.*, n° 25 (1959).

Dans le Westphalien C supérieur contenant ces niveaux marins 1, 2, 3, les lagunes d'eau douce sont fréquemment émergées. Ces émergences sont marquées par des couches ou des passées charbonneuses surmontées de toits à faune douce *Estheria*, *Carbonia* et *Anthracomya*. La subsidence, plus marquée qu'au Nord-Ouest et à l'Est, est ainsi traduite à Sfaïa par une épaisseur entre le niveau marin de base et le 3^e niveau de 210 m et de 65 m seulement à l'Est (Arlal).

Les enfoncements maximaux continuent à se manifester sur l'aire de sédimentation médiane pendant le Westphalien terminal et, au seul Westphalien D, l'épaisseur à Sfaïa atteint 275 m alors qu'elle est d'environ 90 m tant au Nord-Ouest qu'à l'Est.

Le maximum d'enfoncement de la zone centrale du bassin d'Abadla doit se continuer avec les dépôts de grès et d'argilites rouges du Carbonifère supérieur dont l'épaisseur semble dépasser 1 500 m au S de Sfaïa, mais pour ces terrains nous ne possédons aucun repère permettant une comparaison entre la zone centrale et les zones bordières est et ouest.

Cette série stratigraphique de subsidence maximale est en même temps celle où les émergences ont permis l'établissement de forêts houillères ayant le plus de pérennité, où la sédimentation montre le caractère le plus nettement continental.

En outre, cette aire de sédimentation, où la subsidence a été maximale, comprend une suite de bassins secondaires plus ou moins individualisés que séparent les bombements anticlinaux cités précédemment : entre les bassins de Sfaïa et de Zékakat, le relèvement anticlinal du Mennouna ; entre les bassins de Sfaïa et du Ksiksou, l'anticlinal de Gueltet ben Salah.

Chaque bassin secondaire montre une sédimentation cyclique particulière avec une plus ou moins grande abondance de dépôts détritiques, de grès ou de dépôts terrigènes rouges : argilites rouges ; chaque bassin renferme un megacyclothem type. Ces bassins apparaissent ainsi déjà différenciés et séparés plus ou moins par des hauts-fonds dont l'emplacement correspond sensiblement aux bombements anticlinaux.

PALÉOGÉOGRAPHIE DE LA FORÊT HOUILLÈRE. — Comment se comportait la forêt houillère dans deux bassins secondaires et sur le haut-fond intermédiaire ? et prenons comme exemple la forêt de la veine Ksiksou dont les sols ont été suivis par des sondages pour en reconstituer l'histoire.

Ici une parenthèse est nécessaire afin de rappeler la succession cyclique dans la série houillère de nos bassins (de haut en bas) :

	Épaisseurs moyennes
— grès du cycle supérieur	10 à 30 m
— marnes schisteuses plus ou moins gréseuses	15 à 20 m
— passée du toit.....	15 à 20 cm
— marnes schisteuses	5 à 10 m
— couche principale (de Ksiksou).....	45 à 50 cm
— marnes schisteuses.....	5 à 10 m
— passée du mur.....	15 à 20 cm
— marnes schisteuses et grès marneux ..	10 à 20 m
— grès du début du cycle.....	10 à 30 m

En bordure des bassins secondaires, on peut observer une jonction de la couche principale avec la passée du toit (Mennouna) ou avec la passée du mur (Gueltet ben Salah-Ksiksou). Autrement dit, en partant d'un ancien haut-fond — à structure anticlinale — et en pénétrant dans un bassin, la couche principale présente une dichotomie.

Ceci indique incontestablement la persistance de la forêt sur le haut-fond séparant deux bassins secondaires. Le haut-fond qui a été ensuite plissé en anticlinal était le lieu de pérennité de la forêt houillère.

On devine l'importance de cette observation dans la recherche des gîtes exploitables car les épaisseurs de charbon de la couche principale et des passées s'ajoutent. Au lieu d'une seule veine unique de 45 à 50 cm, la veine, sur les hauts-fonds, présente deux sillons : les 45 à 50 cm de la veine principale augmentés des 20 cm représentant la passée, ces deux sillons étant séparés par un barré de schistes de 10 à 15 cm. Le total du charbon exploitable est de 65 à 70 cm pour une ouverture de 80 cm.

Les veines les plus intéressantes doivent donc être recherchées sur l'emplacement des bombements anticlinaux où elles peuvent présenter plusieurs sillons et la superposition, d'une part, des anticlinaux aux anciens hauts-fonds de l'époque contemporaine de la sédimentation et, d'autre part, des synclinaux aux anciens bassins secondaires, apparaît comme une troublante prédestination.

CONCLUSIONS. — La coupe schématique des bords nord et est du bassin d'Abadla pour le Westphalien C supérieur productif et le Westphalien D fait apparaître un fossé avec sédimentation maximale suivant un axe sensiblement N-S passant par Sfaïa-Abadla. Cette sédimentation a été entretenue par une subsidence différentielle en relation avec des affaissements va-

riables du socle. La cause profonde est une cause tectonique pouvant résulter d'un rajustement isostatique.

Primitivement, fonctionnellement, il ne s'agissait pas d'un « fossé » puisque tous les sédiments se sont déposés à faible profondeur sur une plateforme épicontinentale et continentale, et que les maximums d'épaisseur se situent dans la zone où les émergences étaient les plus fréquentes, où le

régime continental a toujours dominé. Le fossé ou le sillon, si l'on veut parler de « sillon », n'est pas sédimentaire, mais épéirogénique.

NOTA. — Pour la bibliographie complète des bassins houillers de la région de Colomb-Béchar, voir la bibliographie in DELEAU P. (1951) : Les bassins houillers du Sud-Oranais dans la région de Colomb-Béchar-Abadla. *Bull. Serv. Carte géol. Algérie*, n° 20, liv. I. — (1952) : La région de Colomb-Béchar. *XIX^e Congr. géol. intern. Alger, Monogr. région.*, 1^{re} sér., n° 8.

Nouvelles observations sur la série de la Gara Sayada (bordure nord-est de l'Eglab, Sahara occidental)

par Pierre DOURTHE et Oberto SERRA *.

Sommaire. — A 45 km à l'W de Bou Bernous (bordure nord-est de l'Eglab), une étude de la région de la Gara Sayada a permis de mettre en évidence une série quartzo-schisteuse d'une épaisseur supérieure à 1 000 m et d'âge caradoc.

Les observations faites à cette occasion semblent prouver la présence, sur cette série plissée du Caradoc, d'un ensemble gréseux subhorizontal d'une centaine de mètres (exposé dans la Gara Sayada elle-même) et qui pourrait amorcer la sédimentation gothlandienne.

Ainsi serait mise en évidence une discordance intra-caradocienne déjà trouvée, au Sahara, en de nombreux points.

Aux mois d'avril et mai 1959 une mission géologique de la Compagnie d'exploration pétrolière (C. E. P.), comprenant Pierre Dourthe et Oberto Serra, a étudié les affleurements primaires de la région de la Gara Sayada **.

RÉSUMÉ DES TRAVAUX PRÉCÉDENTS. — La région de la Gara Sayada est connue depuis 1941 lorsque, le premier, P. Gévin l'aperçut au cours d'un de ses itinéraires.

Au NE de la gara, en bordure des dunes, affleure une série gréseuse à pendages accusés (jusqu'à 40°) qui se distingue nettement sur photos aériennes (B de la fig. 2). Un âge infracambrien fut d'abord attribué par ses premiers visiteurs à cette série énigmatique. Plus récemment, P. Gévin découvrit quelques restes de fossiles peu déterminables dans une série analogue située au NW de la gara (E de la fig. 2), puis dans la série plissée du Nord-Est elle-même. Un âge siluro-dévonien fut alors donné à cet ensemble. Lorsque les travaux de terrain de la C. E. P. nous amenèrent dans cette région, P. Gévin tint à venir lui-même nous montrer ce problème dont il pressentait l'importance.

SÉRIE DE LA GARA. — Deux séries gréseuses sont donc présentes dans la région de la Gara Sayada. L'une de ces séries est subhorizontale et existe tout le long de la bordure de l'Eglab. Elle est bien exposée dans les flancs de la Gara Sayada et sa coupe est connue depuis 1955 [Trumpy et autres, 1956].

Cette série de la gara comprend de haut en bas :

- 25 m de grès fin à moyen, quartzitique, à nombreuses perforations, devenant grossier et ferrugineux au sommet ;
- 50 m de grès fin argileux, feuilleté, micacé, à miches de calcaire gréseux dolomitique jaune à cassure miroitante ;
- 22 m de grès fin à moyen, jaunâtre, friable, à sédimentation lenticulaire ;
- 0 à 5 m de conglomérat gréseux à éléments d'origine éruptive et nodules ferrugineux scoriacés.

SÉRIE PLISSÉE. — a) *Age.* L'étude de la série plissée présentait plus de difficultés. Seul l'ensemble du Nord-Est présentait un affleurement utilisable. Malheureusement les niveaux quartzitiques émergeaient presque seuls, séparant des combes ensablées. La présence d'une équipe de piocheurs indigènes nous permit de faire creuser une ligne d'excavations à une profondeur moyenne de 2 m. 370 trous furent ainsi exécutés permettant le prélèvement d'échantillons plus frais et surtout la mesure de pendages valables.

La sédimentation de cette série est extrêmement monotone. Sur 1 040 m se répète un cycle sédimentaire élémentaire que nous décrirons plus loin. Les spicules de Spongiaires sont abondants dans presque toute la série.

* Note présentée à la séance du 20 mars 1961.

** Nous remercions ici la direction de la Compagnie d'exploration pétrolière d'avoir bien voulu nous permettre de publier cette note.

Mais, surtout, une macrofaune intéressante a pu être récoltée grâce à ces excavations. La base de la série n'est pas visible car la limite méridionale de l'affleurement est constituée par une faille au SE de laquelle affleure le socle cristallin. Mais à 120 m au-dessus de cette faille apparaissent les premiers fossiles dont l'ensemble a été déterminé par P. Pruvost.

La faune la plus ancienne renferme : *Orthis* (*Dalmanella*) *porcata*, *O. (Proschizophoria) sagittifera*, *Rhynchonella* (cf. *Orthis unguis*), Gastéropodes, Bryozoaires, Polypiers.

Dans le reste de la série, on trouve : *Orthis* (*Dalmanella*) *testudinaria*, cf. *O. calligramma*, *Dalmanites* ou *Calymene* sp., *Modiolopsis prima* (du Grès de May), *Orthis* (*Proschizophoria*) *patera*, cf. *O. fissicosta*, *O. (Proschizophoria) falax*.

Enfin les derniers bancs ont livré *Strophomena expansa*.

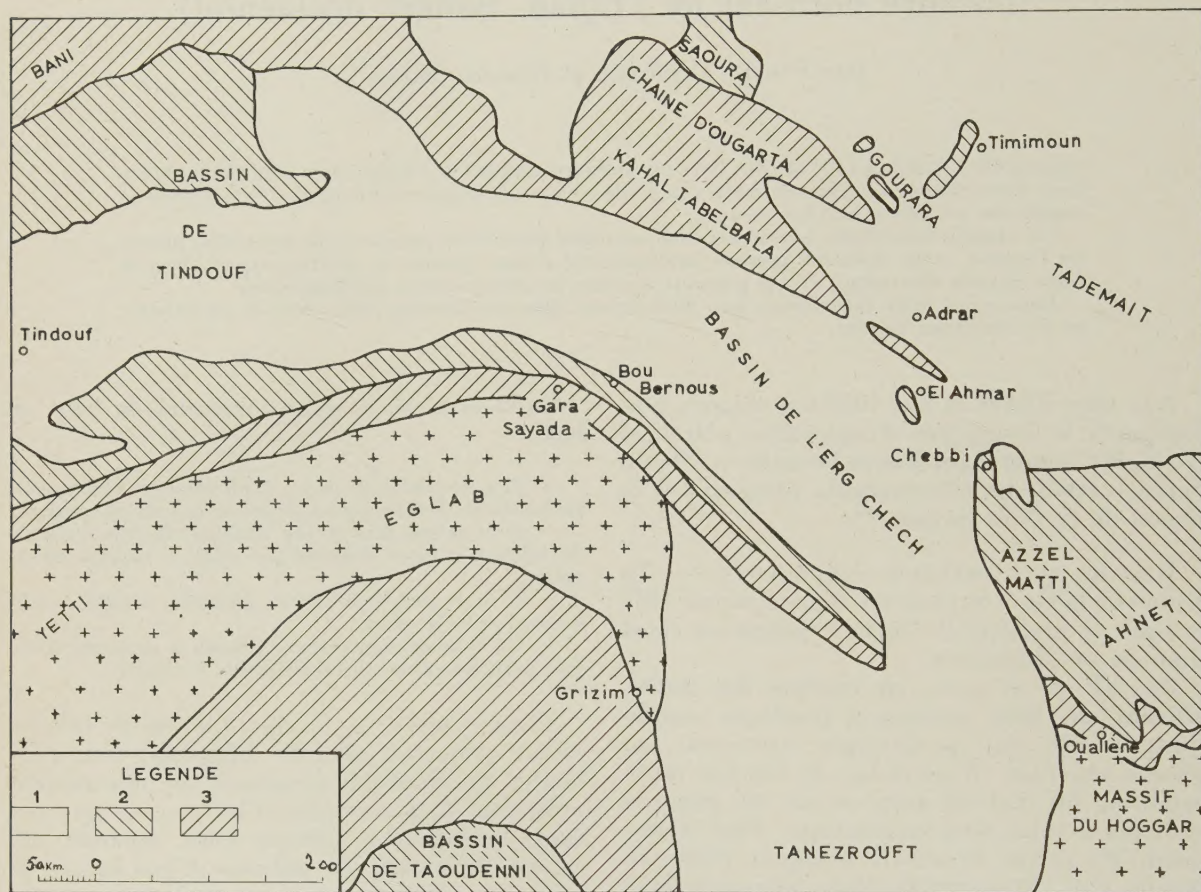


FIG. 1. — Le massif de l'Eglab et ses confins orientaux.

1 : Hamadas secondaires et tertiaires ; 2 : affleurements dévoniens et carbonifères ; 3 : affleurements anté-dévoniens ;
croix : socle cristallin.

Pour P. Pruvost : « La faune de l'ensemble de ces grès exclut le Cambrien et même l'Ordovicien inférieur. Elle se place dans l'Ordovicien supérieur au niveau du Caradoc, d'une façon homogène de la base au sommet de ces grès. »

La seule indétermination réside donc dans les 120 m de la base de la série où aucune faune caractéristique n'a été récoltée. Au total 14 niveaux fossilifères ont été trouvés dans cette série.

b) *Sédimentation*. Nous avons là un bel exemple de sédimentation cyclique, le cycle élémentaire de sédimentation étant répété une vingtaine de fois sur toute l'épaisseur de la série.

Ce cycle élémentaire mesure environ 80 m

1. Les études de laboratoire sur les matériaux récoltés ont été faites par J. Lefournier.

d'épaisseur en moyenne et peut se schématiser de la façon suivante¹ de bas en haut :

a) 20 m de grès moyen, jaune, friable, avec des lits conglomératiques à nodules d'argile verte ;
b) 5 m de grès quartzite fin blanc ;

c) 10 m d'argiles gréseuses et de grès argileux micacés renfermant des niveaux ferrugineux à hématite et oolithes blanches ;

d) 20 m de grès quartzite fin en bancs assez régulier, formant les crêtes, renfermant des niveaux et des zones lenticulaires, calcaréo-ferrugineuses, dolomitiques, à spicules de Spongiaires ;

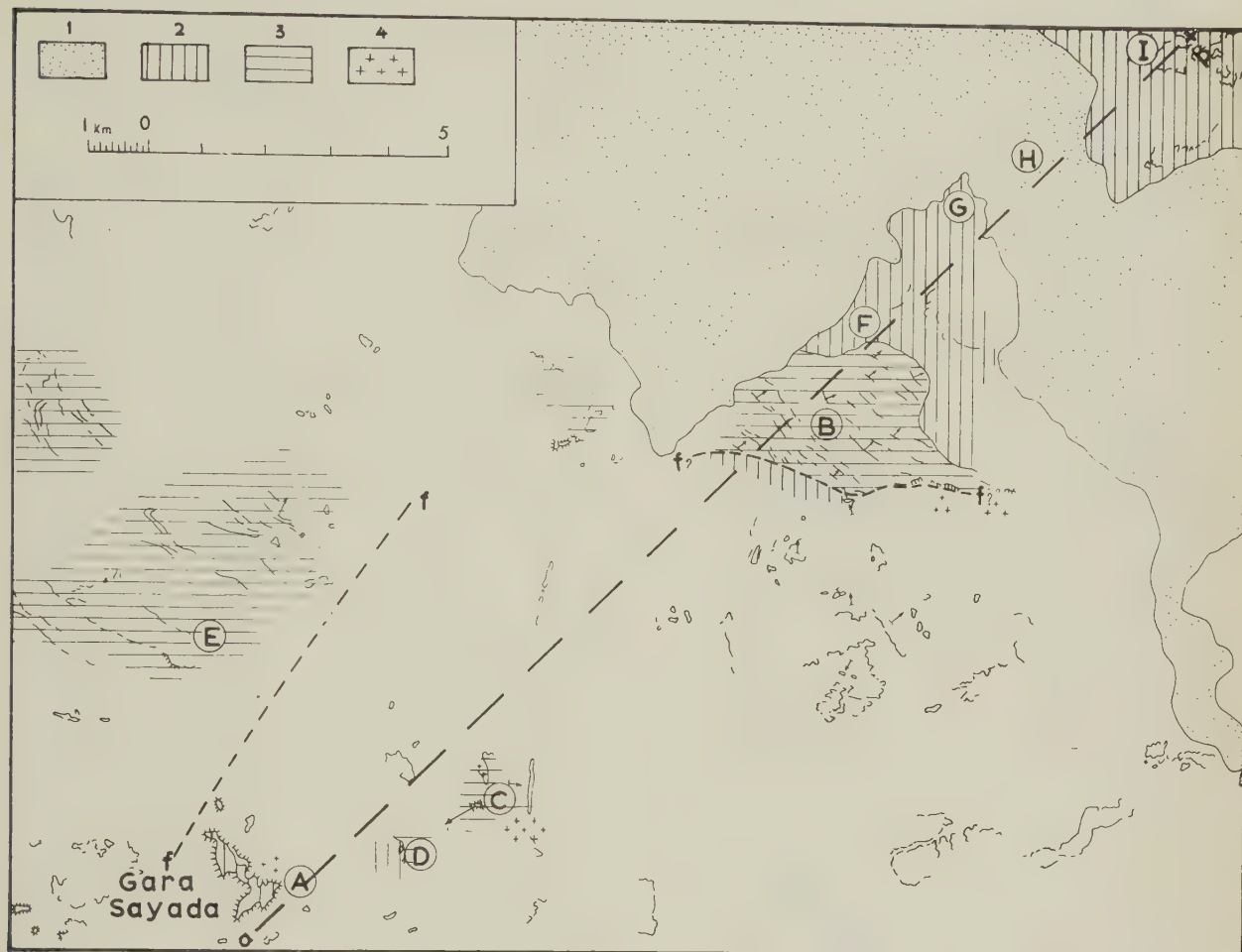


FIG. 2. — Région de la Gara Sayada. Seuls ont été notés les affleurements qui ont pu être interprétés.

1 : dunes ; 2 : série supérieure ; 3 : série inférieure ; 4 : socle cristallin ; a : coupe de la fig. 4.

e) 15 m de grès fin à moyen à passées argileuses, contenant souvent des traces de gypse ;

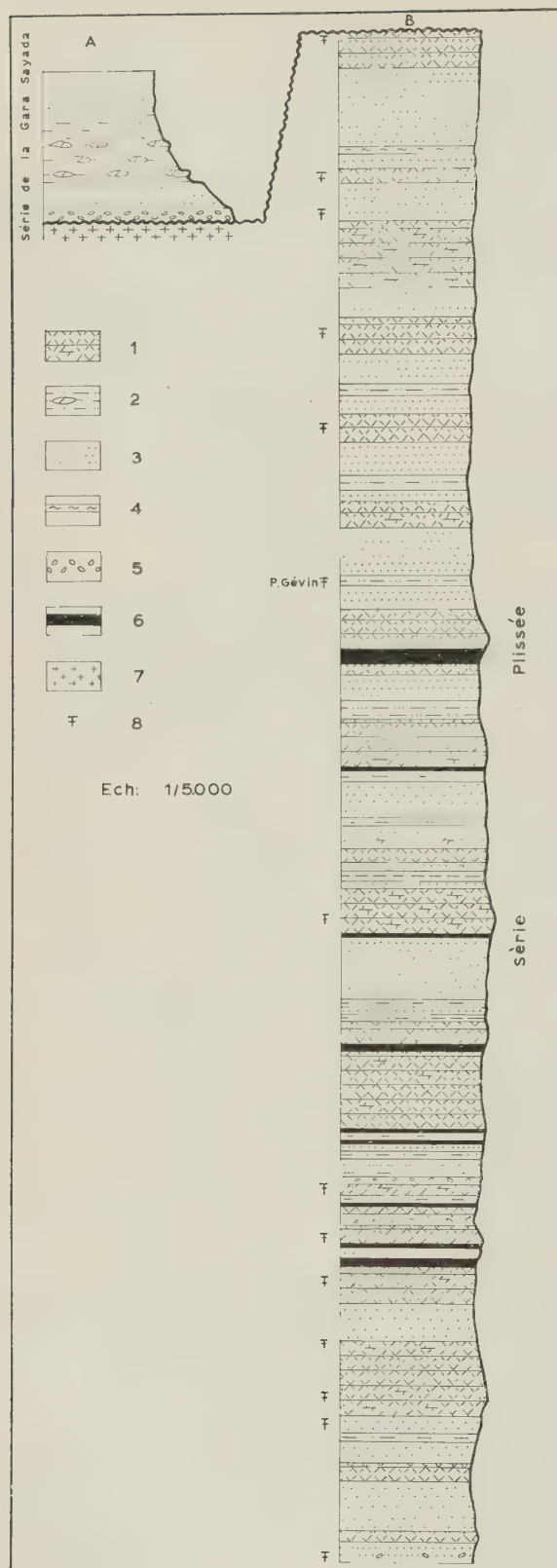
f) 10 m de grès fins micacés et d'argiles.

Sur l'évolution générale de la série (fig. 3) on peut simplement dire que la base semble plus grossière tandis que le niveau c est particulièrement ferrugineux au milieu de la série.

POSITIONS RESPECTIVES DE LA SÉRIE DE LA GARA SAYADA ET DE LA SÉRIE PLISSÉE. — La

géologie de la région de la Gara Sayada est extrêmement difficile à débrouiller. En effet nous n'avons là que des sédiments gréseux et le caractère cyclique de la sédimentation provoque de nombreuses répétitions de faciès.

La série de la Gara Sayada elle-même n'est en fait qu'un cycle sédimentaire comparable à ceux contenus dans la série plissée. En particulier le niveau de base de la Gara Sayada, lorsqu'il n'est pas conglomératique, est identique à tous les



niveaux *a* et même souvent *e* de la série plissée. Cette omniprésence de niveaux gréseux presque tous identiques s'ajoute à la complexité structurale due aux nombreuses failles qui donnent des contacts grès sur grès difficiles à déceler.

Cependant la série de la Gara Sayada présente certains éléments caractéristiques et en particulier la succession de :

- un niveau de base conglomératique très ferrugineux à éléments de socle ;
- un ensemble tendre schisto-gréseux à miches dolomitico-gréseuses bleutées ;
- au sommet un ensemble gréseux assez ferrugineux à patine sombre.

Il n'était pas question de chercher les rapports de la série de la Gara Sayada avec le groupe plissé du Nord-Ouest, la limite entre ces deux formations étant faite par une faille à rejet assez important.

L'étude a donc porté sur le groupe plissé du Nord-Est. Les bancs redressés de cette série sont recouverts un peu partout de placages subhorizontaux de grès conglomératique très ferrugineux.

Au Nord-Est, en F (voir fig. 2), nous avons trouvé, sur les derniers bancs visibles de la série plissée, un conglomérat subhorizontal à éléments de socle dont le contact était bien visible dans plusieurs de nos excavations. La présence sur la série plissée d'un ensemble horizontal discordant semble donc bien prouvée.

Au-dessus de ce conglomérat existent des grès moyens friables, identiques à ceux de la base de la série de la Gara Sayada ... ou au niveaux « *a* » des cycles de la série plissée.

Mais nous avons pu découvrir au-dessus, en G, des miches dolomitico-gréseuses bleutées. Dans les dunes peu accessibles qui bordent cette zone au Nord-Est existent de bons affleurements d'un ensemble de grès fins schisteux micacés toujours subhorizontaux.

De l'autre côté des dunes, dans le Sud du couloir qui file vers le Nord, ces schistes sont surmontés par des grès quartzitiques moyens, à patine sombre, qui deviennent de plus en plus grossiers et ferrugineux vers le Nord où ils sont recouverts en concordance par les argiles du Gothlandien.

Nous avons donc là une séquence, dont toutes

FIG. 3. — Logs stratigraphiques des séries.

- 1 : quartzites avec niveaux ferrugino-dolomitiques ; 2 : grès argileux avec miches grésodolomitiques ; 3 : grès moyen ; 4 : marnes ; 5 : conglomérats et microconglomérats ; 6 : niveaux ferrugineux ; 7 : socle cristallin ; 8 : niveaux fossilifères.

d'Asaphidés. Cet ensemble est également daté du Caradoc.

Enfin, si nous faisons le tour de l'extrémité orientale du massif de l'Eglab, nous ne pouvons que signaler les ressemblances avec l'affleurement le plus nord-occidental de la série de Grizim, situé dans l'Erg Chech à 45 km au SW du puits de Hassi Moul el Hadjer.

La série subhorizontale de la Gara Sayada est, elle, connue à peu près partout sur le pourtour de la Dorsale Réguibat sous des faciès peu différents.

Cette nouvelle observation [Dourthe, 1959] d'une discordance importante dans le sommet de la série ordovicienne (qui a même été datée ici comme intra- ou supra-caradocienne) peut donc être le point de départ d'une réinterprétation importante de la géologie des séries inférieures de couverture du massif de l'Eglab, dans son extrémité orientale. Cette réinterprétation permettrait probablement de faire le raccord entre le Cambro-Ordovicien et les séries intermédiaires du Sahara occidental et du Soudan, à travers le détroit de Grizim-Fersiga-Ouallène.

Bibliographie.

Compagnie d'exploration pétrolière (1956 à 1960) : documents inédits.

DOURTHE P. (1959). — Sur une discordance angulaire dans les grès inférieurs d'Ouallène (Nord-Ouest Hoggar). *C. R. somm. S. G. F.*, p. 214.

GÉVIN P. (1948). — La série paléozoïque d'Aouinet Legraa. *B. S. G. F.*, (5), XVIII, p. 369-383.

— (1952). — Sur la structure du massif cristallin Eglab-Yetti (Sahara occidental). *C. R. Ac. Sc.*, t. 233, p. 1129-1130.

HOLLARD M. (1955). — Compléments à l'étude du bord

nord du bassin de Tindouf. Paris, Bureau de recherches pétrolières.

POUEYTO A. (1952). — Les chaînes d'Ougarta et de la Saoura. *19^e Congr. géol. intern. Alger, Monogr. région.*, 1^{re} sér., Algérie, n° 15.

TRÜMPY D., SALLÉ C., BOIS C., HINDERMEYER J., JACQUIN A., MOLLIÉ M., MOULIN P. et POULET M. (1956). — Préreconnaissance du bassin d'Adrar. Rapport de fin de campagne. Paris, Bureau de recherches pétrolières.

Problèmes de la géologie de l'Antécambrien en Ahaggar (Sahara central)

par Maurice LELUBRE*.

Sommaire. — Dans l'Antécambrien de l'Ahaggar il est possible d'établir une chronologie et de reconstituer en partie l'évolution des formations accessibles. Grâce à l'existence de discordances suivies sur des distances pouvant atteindre 1 000 km, on peut distinguer une alternance de compartiments à allongement subméridien : le Pharusien se présente comme un remplissage sédimentaire et volcanique de gigantesques fossés tectoniques entre les blocs disjoints du Suggarien. Suggarien et Pharusien correspondent à deux grands cycles orogéniques dans chacun desquels, schématiquement, le métamorphisme général est antérieur aux phases majeures de plissement, tandis que la migmatisation se développe vers la fin de celles-ci, avec évolution continue vers des granites de plus en plus discordants et même vers un volcanisme rhyolitique. La structure d'ensemble est dominée par de gigantesques accidents cassants, dont l'origine se dessine parfois dès la fin du cycle suggarien, et dont certains ont rejoué durant les périodes géologiques postérieures, réglant ainsi dans une large mesure le dépôt et l'évolution de la couverture sédimentaire.

Toute la moitié nord du continent africain, à l'exception de la Berbérie, est une vieille plateforme constituée par un socle antécambrien et sa couverture sédimentaire plus récente. Si ce socle affleure largement dans les régions soudanaises, il n'apparaît au Sahara qu'à la faveur de larges bombements isolés les uns des autres : Mauritanie-Eglab à l'Ouest, Ahaggar au centre, Tibesti, Ouénat et Chaîne arabique à l'Est.

Ce schéma si simple et qui nous paraît aujourd'hui si évident ne fut cependant pas accepté sans difficulté lorsqu'il fut mis en lumière en 1922 par Conrad Kilian à la suite des observations qu'il venait de faire en Ahaggar.

C'est encore en Ahaggar que C. Kilian découvrit pour la première fois, en 1928, des conglomérats métamorphiques et en déduisit l'existence de deux termes dans l'Antécambrien : *Suggarien* pour le plus ancien, *Pharusien* pour le plus récent. L'étude de l'Antécambrien africain se trouvait ainsi orientée vers une analyse stratigraphique, et engagée dans la voie même qu'avait indiquée J. J. Sederholm en Fennoscandie dès la fin du siècle dernier.

L'Ahaggar se présentait ainsi comme un terrain de choix pour l'étude de la géologie de l'Antécambrien. Pourtant, lorsque j'en ai entrepris l'étude systématique en 1938 les idées de Kilian étaient restées lettre morte, et l'Antécambrien n'était généralement considéré que

comme un matériel destiné aux études pétrographiques. Rompant délibérément avec ces conceptions erronées, je me suis efforcé d'y dégager une stratigraphie d'ensemble et d'y replacer les phénomènes pétrogénétiques essentiels dans un cadre structural et chronologique. Dans un mémoire d'ensemble publié en 1952, consacré principalement aux régions occidentale et centrale du massif, j'ai montré l'intérêt d'une telle analyse et esquissé une première image des chaînes antécambriennes de l'Ahaggar.

Cependant, à la fin de 1953, la mise en œuvre d'un programme de prospection entrepris par le Bureau de recherches minières de l'Algérie (B. R. M. A., aujourd'hui Bureau de recherches géologiques et minières, B. R. G. M.) conduisit à reprendre l'étude d'ensemble de l'Ahaggar, non seulement avec des moyens matériels appropriés, mais aussi avec l'appui d'une couverture photographique aérienne de la totalité du massif. C'est ainsi que les équipes géologiques du B. R. M. A. et des géologues du Service de la carte géologique de l'Algérie, du C. N. R. S. et de diverses universités ont pu réaliser la cartographie géologique de toute la surface de l'Ahaggar et en aborder l'étude de détail. En attendant que le travail considérable accompli jusqu'ici puisse donner lieu à des publications d'ensemble, les résultats

* Note présentée à la séance du 24 avril 1961.

en ont été synthétisés sur une carte géologique au 500 000^e présentée par le B. R. G. M. au Congrès géologique international de Copenhague en 1960, et j'ai pu les utiliser pour la nouvelle édition de la feuille « Sahara central » de la « Carte géologique du Nord-Ouest de l'Afrique » au 2 000 000^e, actuellement à l'impression.

Ces études récentes ont confirmé les conclusions fondamentales auxquelles j'étais parvenu en 1952 ; mais bien des points ont été précisés ou rectifiés, et nombre de données nouvelles ont été acquises.

Il s'en faut évidemment de beaucoup que tous les problèmes de l'Antécambrien de l'Ahaggar

soient actuellement résolus ! Mais ils se trouvent maintenant posés pour la plupart dans un cadre géologique précis dont les traits essentiels sont définitivement acquis.

En introduction aux communications de quelques-uns des géologues qui travaillent actuellement en Ahaggar, je voudrais insister sur quelques points qui me paraissent présenter un intérêt débordant du cadre strictement régional. Il se trouve en effet que, par son étendue et sa continuité, par l'admirable visibilité avec laquelle se présentent la plupart des problèmes, l'Ahaggar offre sans conteste un des plus beaux exemples d'Antécambrien qui soit au monde.

I. Stratigraphie.

La stratigraphie de l'Antécambrien diffère fondamentalement de celle des formations postérieures par l'absence de données paléontologiques ayant une signification chronologique. Par suite, la nomenclature stratigraphique définie pour les formations fossilifères ne peut et ne doit pas être appliquée.

Malgré les difficultés résultant principalement de l'action des processus d'origine interne, il est souvent possible, localement ou régionalement, d'établir une stratigraphie descriptive dont la base est essentiellement lithologique, reposant sur le principe de superposition. Ce sont évidemment les formations stratifiées, d'origine sédimentaire ou même volcanique, qui peuvent être alors utilisées, car on peut dans un grand nombre de cas en définir le haut et le bas malgré les transformations qu'elles ont subies.

Dans ces successions lithologiques, les coupures ne peuvent être définies que par l'existence de *discordances*.

Une discordance implique au moins une phase de déformation puis une phase d'érosion de l'ensemble inférieur antérieurement au dépôt de l'ensemble supérieur ; elle se réfère donc aux phénomènes géodynamiques. Ceux-ci ne pouvant se marquer partout de la même façon pendant une même tranche de temps, il s'ensuit que la chronologie relative déduite des discordances ne peut avoir qu'une valeur régionale plus ou moins étendue. Pour discuter de celle-ci, il est donc nécessaire de considérer d'une part les caractères respectifs des ensembles séparés par une discordance (métamorphisme, tectonique, plutonisme, etc.), d'autre part leur continuité et leur extension. Lorsque, comme c'est le cas au Sahara central, on peut suivre sur des distances de

l'ordre de 1 000 km des discordances séparant des ensembles complètement différents, on est assuré qu'il s'agit là de coupures fondamentales.

Les corrélations entre des ensembles séparés les uns des autres peuvent s'imposer par l'étude de leurs caractères ; mais la démonstration n'en pourra résulter que des données géochronologiques.

Les discordances se référant aux phénomènes orogéniques, il paraît logique d'utiliser ceux-ci pour définir la chronologie des ensembles antécambriens.

On est ainsi conduit à adopter comme unité le *cycle orogénique*, dans le sens défini par C. E. Wegmann [1938] : c'est l'intervalle de temps durant lequel un secteur de l'écorce terrestre s'est comporté comme une unité dans son développement, c'est-à-dire durant lequel une « zone orogénique » a évolué pour constituer une chaîne plissée par un ensemble de mouvements de caractères divers, mais coordonnés entre eux.

Un cycle orogénique correspond ainsi à la succession dans le temps d'un grand nombre de phénomènes externes et internes, c'est-à-dire à une succession de mouvements qui se sont marqués dans la formation et l'évolution des roches que nous observons, dans tous les ordres de grandeur. Ce sont donc principalement les méthodes de l'analyse structurale, dont C. E. Wegmann a montré depuis longtemps l'importance fondamentale, qui peuvent nous permettre de démêler quelques fils de cet écheveau en nous fournissant des éléments chronologiques.

Lorsque des cycles successifs se sont superposés, il est évidemment indispensable d'essayer de séparer les mouvements respectifs qui s'y rap-

portent. Ainsi, l'analyse pétrographique ne peut progresser que dans un cadre chronologique et structural, sinon elle risque d'aboutir à la confusion.

LES CYCLES OROGÉNIQUES ANTÉCAMBRIENS EN AHAGGAR. — Comme l'a montré Conrad Kilian en 1922, le socle antécambrien à peu près complètement arasé de l'Ahaggar est parfaitement séparé de sa couverture sédimentaire par la *discordance tassilienne*, observable tout autour du massif, sauf à l'Ouest où des formations crétaées ou plus récentes le recouvrent.

Cette coupure fondamentale se place généralement à la base d'un puissant ensemble gréseux, les « Grès inférieurs des Tassilis », dont la partie inférieure est attribuée au Cambrien [B. R. P., etc., 1959]. Mais au Nord-Ouest, elle se situe à la base d'un ensemble plissé plus ancien, la « série pourprée de l'Ahnet », elle-même recouverte en discordance par les grès cambriens ; on est conduit [Lelubre, 1957] à donner à cette série la signification de l'Infracambrien et je pense, en accord avec H. Moussu (qui en poursuit actuellement l'étude) et P. Gevin, que c'est l'équivalent des séries à Stromatolithes du Sahara occidental [Gevin, 1960], mais déposé dans un sillon subsident, préfiguration du « sillon de la Saoura ».

De toute façon, l'âge antécambrien du socle métamorphique ne saurait faire de doute.

Dans l'énorme complexe antécambrien qui affleure en Ahaggar sur une surface grande comme celle de la France, j'ai mis en évidence des discordances régionales, généralement submériidiennes, dont le tracé et l'extension ont été précisés depuis. Du Nord de l'Ahaggar jusqu'au Sud de l'Adrar des Iforas [Karpoff, 1958] et au Sud de l'Aïr [Raulais, 1959], on peut les suivre souvent de façon continue sur des distances de l'ordre de 1 000 km, bien que leur caractère de discordance puisse disparaître par passage à des accidents cassants. De façon très générale, chaque discordance sépare deux ensembles de formations, dont l'un est fortement métamorphique et l'autre beaucoup moins, constituant des compartiments allongés qui alternent d'Ouest en Est.

Or, au SE de l'Ahaggar, C. Kilian [1932] découvrit dans l'Oued Sersouf des conglomérats métamorphiques qui lui permirent de distinguer *Suggarien* et *Pharusien*. J'ai montré [Lelubre, 1952] que le Suggarien constitue la zone centrale de l'Ahaggar, et que le Pharusien occupe un vaste fossé allongé NW-SE à l'intérieur de ce Suggarien.

L'analyse des autres régions montre que tous les ensembles situés au-dessous des grandes discordances présentent des caractères extrêmement comparables à ceux du Suggarien *str. s.* : j'ai donc supposé qu'il s'agit aussi de Suggarien ; ce n'est évidemment qu'une hypothèse, mais toutes les observations récentes tendent à la justifier. De même, tous les ensembles discordants sur ce Suggarien *l. s.* présentent, malgré des différences souvent importantes, un grand nombre de traits communs avec le Pharusien de l'Arefsa ; en l'absence de données géochronologiques, l'hypothèse la plus simple et permettant de coordonner le plus grand nombre d'observations est d'admettre qu'il s'agit aussi de Pharusien, sans qu'on puisse pour autant affirmer une corrélation chronologique absolue entre les différents bassins.

Si l'on accepte ces hypothèses, l'Antécambrien de l'Ahaggar comprendrait deux grands ensembles de formations séparés par une coupure fondamentale, la *discordance pharusienne*. Il correspondrait par conséquent à la succession de deux cycles orogéniques : le *cycle suggarien* et le *cycle pharusien*. Ayant donné ailleurs les caractères généraux de ces cycles, je me bornerai à préciser seulement quelques points.

a) *Suggarien*. Il constitue trois vastes compartiments séparés par des formations pharusiennes : à l'Ouest la zone Tanezrouft-Adrar, au centre la zone Ahaggar central, à l'Est la zone Anahef-Aïr.

Nous ne connaissons, de toute évidence, qu'une partie du matériel suggarien, la base étant inconnue et la partie supérieure enlevée par l'érosion. C'est en Ahaggar central, où le Suggarien fut défini, qu'on doit d'abord analyser la série stratigraphique visible. Dans cette zone, j'ai distingué deux grands ensembles superposés : la série de l'Arechchoum à la base, la série de l'Eg'éré au-dessus.

— La *série de l'Arechchoum* est essentiellement gneissique, avec des intercalations plus ou moins puissantes d'amphibolites, quartzites et cipolins. Ces derniers indiquent l'origine sédimentaire de la majeure partie de l'ensemble ; mais il existe aussi d'importantes séries de laves transformées en leptynites ou amphibolites ; ces laves ne sont cependant jamais prédominantes. On n'a pas encore essayé de retrouver une stratigraphie un peu détaillée de ce complexe dont l'épaisseur pourrait être de l'ordre de 15 000 m, et qui évoque un puissant remplissage de type flysch.

— La *série de l'Eg'éré* est caractérisée ordinairement par le grand développement des quartzites et cipolins, associés aux amphibolites,

pyroxénites, gneiss, etc. Elle constitue principalement la chaîne Eg'éré-Arefsa qui s'allonge NNW-SSE sur 600 km. Son étude a été reprise en Eg'éré par L. Duplan [1959] qui a pu en préciser

la stratigraphie jusque dans le détail; il y retrouve des successions de séquences bien reconnaissables, et des variations d'épaisseur mettant en évidence des déformations qui se sont faites

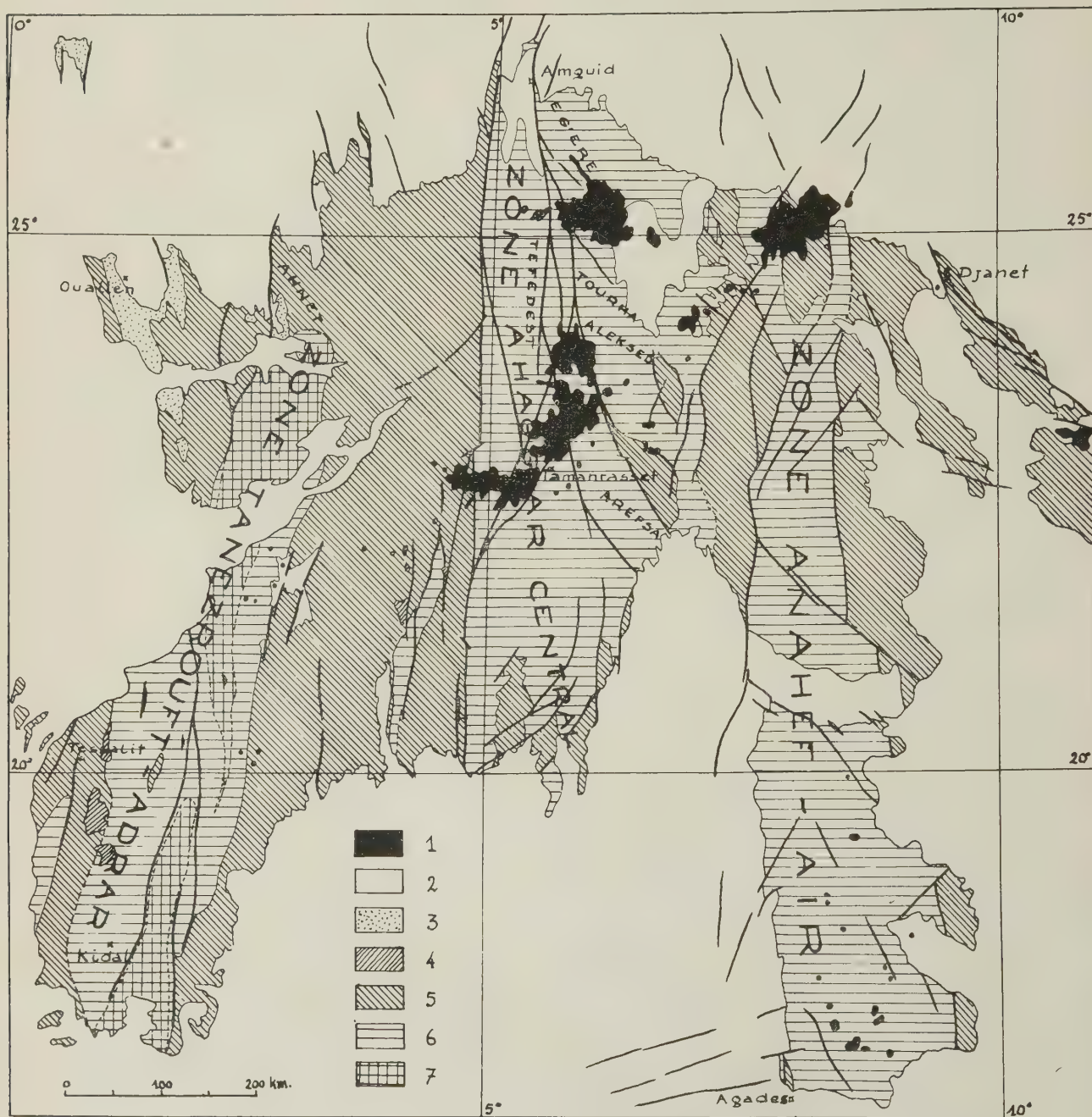


FIG. 1. — Esquisse structurale du Sahara central. (Adrar des Iforas d'après R. KARPOFF [1958]; Aïr d'après M. RAULAIS [1959] et F. JOULIA [1957]).

1 : volcanisme ; 2 : couverture sédimentaire ; 3 : série pourprée de l'Ahnet ; 4 : Nigritien ; 5 : Pharusien ; 6 : Suggarien ; 7 : Suggarien à « faciès In Ouzzal ».

durant la sédimentation elle-même. Si cette série s'individualise nettement par rapport à celle de l'Arechchoum, il y a cependant concordance partout où l'on peut voir leurs rapports ; mais les observations conduisent à supposer l'existence de zones émergées.

La même série se suit en continuité, avec des variations de faciès importantes, dans toute la chaîne ; cette vaste extension traduit donc un changement régional dans les conditions de sédimentation, lié à des mouvements d'ensemble. On peut, en conséquence, se demander si ces mouvements n'ont pas intéressé une zone plus large, et même l'ensemble de l'Ahaggar. Effectivement, on retrouve au Sud de l'Ahaggar des séries très comparables et il en est de même en Anahef ; dans le Nord de l'Adrar des Iforas, il est possible que les séries essentiellement quartzitiques et calcaires de certaines zones synclinales puissent être interprétées de la même façon.

Je pense qu'une analyse stratigraphique détaillée du Suggarien est possible dans un grand nombre de régions, comme le montre le travail de L. Duplan en Eg'éré ; mais actuellement nous ne pouvons nous faire aucune idée précise des conditions de sédimentation de ces puissantes séries, dont l'épaisseur accessible est de l'ordre de 20 km.

b) *Pharusien*. Nous rapportons au Pharusien les formations qui séparent les blocs suggariens et qui apparaissent ainsi : 1) à l'Ouest de l'Adrar des Iforas et dans le Tanezrouft ; 2) entre les zones suggariennes Tanezrouft-Adrar et Ahaggar central, en continuité au Nord avec les précédentes ; 3) en Arefsa et bassins discontinus plus au Nord ; 4) dans l'Anahef occidental ; 5) enfin dans l'Ahaggar oriental, se prolongeant en bordure de l'Aïr vers le Sud.

Le caractère le plus remarquable de ces zones pharusiennes est la disposition rectiligne de leurs bords qui semblent ainsi correspondre à de gigantesques lignes de cassures subméridiennes. Ces bordures sont souvent marquées par des discordances admirablement visibles, soulignées par des conglomérats de base parfois très puissants ; mais souvent aussi la discordance n'est plus visible et on n'observe plus que des zones mylonitiques séparant alors deux domaines extrêmement différents ; enfin ces bordures sont fréquemment jalonnées par un important volcanisme pharusien.

En fait, ces cassures ont pu rejouer à diverses reprises, et nous y reviendrons plus loin ; mais il paraît évident qu'elles se sont dessinées au moins dès la fin du cycle suggarien.

On est donc conduit à supposer qu'au début du cycle pharusien le craton suggarien, attaqué par l'érosion jusqu'à la catazone, était déjà découpé par un faisceau de cassures subméridiennes, marquées par des flexures, failles et décrochements, en une succession de horsts et de fossés tectoniques. En fait, la structure est souvent complexe dans le détail ; ainsi des blocs suggariens de dimensions plus réduites apparaissent au SE du fossé pharusien de l'Ahaggar occidental comme celui mis en évidence à l'W de Tim'g'ouine par M. Bouvet et C. Reboul [1959] ; mais ils correspondent au même système de fracturation.

Les fossés tectoniques ont été le siège de la sédimentation pharusienne ; les caractères des sédiments, la morphoscopie des galets, la présence en plusieurs points de Stromatolithes [Lelubre, 1951 ; Gravelle et Lelubre, 1957] indiquent la nature marine de cette sédimentation. Mais celle-ci s'est faite aussi sur certaines parties des horsts suggariens : sur le prolongement nord du horst Tanezrouft-Adrar, au S de l'Ahaggar central, etc. sans qu'on puisse en fixer l'extension.

Chaque fossé semble bien avoir évolué de façon indépendante, et même différemment suivant les régions. Il est donc peu probable qu'on puisse établir des corrélations précises entre les divers remplissages, bien que ceux-ci se soient souvent opérés suivant un même schéma. Ce remplissage sédimentaire commence souvent par des conglomérats polygéniques, grès et arkoses, atteignant parfois plus de 3 000 m de puissance ; il se poursuit par des séries pélitiques, puis des complexes grésopélitiques renfermant des intercalations de conglomérats, quartzites, calcaires, etc.

Mais dans ce complexe sédimentaire s'introduisent, à des niveaux variés, d'énormes ensembles volcaniques. Le volcanisme marque souvent le début du cycle pharusien : dans le fossé d'Ahaggar occidental, les massifs rhyolitiques jalonnent les bordures, antérieurs aux conglomérats de base ou contemporains ; en Arefsa, ce sont des laves basiques qui ont précédé les conglomérats. Mais durant la sédimentation prédomine généralement le volcanisme basique [Ranoux, 1959], vraisemblablement sous-marin en majeure partie. Enfin plus tardivement apparaissent de puissantes venues rhyolitiques.

Il reste encore un travail considérable à accomplir pour démêler les successions lithologiques, en étudier les caractères et reconstituer quelques-uns des traits de l'histoire de ces fossés. Ce travail a été entrepris par M. Gravelle dans la partie centrale du fossé occidental, et il est à souhaiter que son exemple soit suivi.

Mais la sédimentation apparaît différente sur les horsts. Ainsi, sur le prolongement septentrional ennoyé du horst Tanezrouft-Adrar, on n'observe plus ni conglomérats, ni séries volcaniques, mais le développement de séries péliques, calcaires et surtout quartzitiques ; les énormes ensembles quartzitiques (Adrar Ahnet, Ag'eraazraz, Taoudrart) montrent en abondance des traces de stratifications entrecroisées et ripple-marks, indices d'une mer peu profonde, ce qui est confirmé par la présence de *Collenia* dans les calcaires au S d'Adoukrouz.

Ces grands fossés volcanisés font penser aux Rift Valleys d'Afrique centrale, mais avec une largeur beaucoup plus grande et envahis par la mer, ou à la mer Rouge. Mais ils ont évolué ensuite comme des géosynclinaux.

c) *La question du Nigritien*. Le terme de *Nigritien* a été proposé par R. Karpoff en 1946 pour désigner certaines formations discordantes sur des séries pharusiennes, mais probablement encore antécambriennes. Malheureusement, ce terme a été fort mal défini ; d'abord il n'est pas appuyé sur une localité-type, mais a été simplement rapporté à des affleurements isolés distants parfois de plus de 150 km et dont les caractères sont souvent nettement différents ; ensuite les caractères distinctifs sont des plus vagues : discordance sur un substratum généralement pharusien, postériorité probable vis-à-vis des granites, métamorphisme faible ou nul,

présence de plissements ou de failles, gisements relativement peu importants et discontinus [Karpoff, 1958, p. 197].

Il s'agit essentiellement de laves de types rhyolitiques et de formations détritiques (conglomérats, grès, arkoses) légèrement métamorphiques (sauf dans le Timetrine, selon R. Karpoff), parfois très épaisses. Les principaux affleurements se situent dans la région nord-ouest de l'Adrar des Iforas (Tahort, Tessalit, etc.) mais on a reconnu des formations analogues dans le Sud de l'Ahaggar, au Nord de l'Adrar Ilassène ; en particulier les conglomérats de Bourzekkal que j'avais considérés comme interstratifiés dans le Pharusien [Lelubre, 1952, t. 2] sont en réalité discordants ; d'autres affleurements ont été signalés par M. Bouvet et C. Reboul [1959].

Le métamorphisme léger de ces formations et leur liaison fréquente avec des rhyolites semblent les distinguer de la série pourprée de l'Ahnet, et il est probable qu'elles sont antécambriennes. S'il s'agit incontestablement de séries stratigraphiques indépendantes, leur étendue insignifiante par rapport à celle du Pharusien ne permet guère de parler à leur propos de cycle orogénique. On peut alors les considérer comme une phase tardive du grand cycle pharusien.

Quant aux « séries de Tiririne » définies par J. Blaise [1956, 1958] en Ahaggar oriental, il semble bien qu'on doive, comme le pensent B. Guérangé et P. Vialon [1960], les considérer comme pharusiennes.

II. Évolution des cycles orogéniques.

Si j'ai insisté sur la stratigraphie, c'est que celle-ci me paraît capitale pour l'interprétation des formations antécambriennes tout comme pour les autres formations. Mais en fait l'analyse stratigraphique doit s'appuyer constamment sur celle de la structure et sur celle des transformations qui ont affecté le matériel originel. C'est qu'en effet les formations antécambriennes ont été partout plus ou moins intensément métamorphosées, plissées et migmatisées. Il faut donc considérer ces phénomènes dans chacun des cycles orogéniques.

1. CYCLE SUGGARIEN. — Toutes les formations suggariennes connues sont fortement métamorphiques. Ce métamorphisme est très généralement catazonal, mais les séries stratigraphiquement supérieures montrent le passage à la mésozone. Mais l'analyse précise des variations de ce métamorphisme reste encore à faire.

J'ai montré que, de façon absolument générale, la foliation est parallèle à la stratification, bien marquée la plupart du temps par les changements dans la nature des roches. L'ensemble des schistes cristallins ayant été intensément plissé, il ne peut faire de doute que les plissements sont, dans leur ensemble, postérieurs au métamorphisme général. Il est fort probable que, comme l'ont indiqué J. Jung et M. Roques, le métamorphisme général se soit effectué dans des conditions dynamiques d'étirement liées à l'enfoncement géosynclinal.

Je ne crois pas nécessaire de revenir sur ce que j'ai dit ailleurs de la tectonique du Suggarien, bien que celle-ci soit maintenant connue avec bien plus de précision.

La plupart des observations confirment la nette différence de style entre la tectonique de la série de l'Arechchoum et celle de la série de l'Eg'éré. La disharmonie qu'on constate géné-

ralement entre les deux séries découle vraisemblablement des différences lithologiques originales, mais aussi des transformations profondes apportées lors de l'épisode de métamorphisme général.

Lorsqu'on étudie en particulier la tectonique de l'Eg'éré et surtout de la Tourha, la conclusion semble s'imposer que les masses de gneiss migmatitiques indurés ont joué un rôle essentiel dans la disposition tectonique, comme l'a montré L. Duplan en Eg'éré. Les roches qui ont eu l'influence la plus nette sont bien souvent de véritables « migmatites » parmi lesquelles le type « artérite » est largement prédominant. Dans la Tourha, ces artérites présentent de remarquables phénomènes de boudinage traduisant un étirement qui a suivi la formation des feuilletts aplo-pegmatitiques, celle-ci étant probablement postérieure à l'acquisition de la foliation.

On est donc conduit à placer un épisode de mobilisation conduisant à des migmatites entre l'acquisition de la foliation et les grandes phases de plissement ; mais cette mobilisation est toujours indépendante de la formation de roches granitiques. Par contre, la formation d'un grand nombre de gneiss œillés semble inséparable de l'épisode de métamorphisme général.

C'est beaucoup plus tardivement qu'apparaît une seconde période de mobilisation, beaucoup plus importante, conduisant à la formation de la majeure partie des migmatites, cette fois liées à des granites. Ces migmatites sont de types extrêmement variés, mais avec prédominance des nébulites et agmatites.

Ce sont alors de vastes ensembles plissés qui ont été migmatisés : la mobilisation aurait donc affecté des schistes cristallins ayant déjà acquis l'essentiel de leur tectonique. Mais les textures intensément plissées, étirées ou bréchiques des migmatites indiquent clairement qu'elles se sont formées durant des phases de déformation. On peut donc penser que l'essentiel de ces phénomènes se placerait à la fin, ou dans un stade tardif des grands plissements.

Il est extrêmement difficile de séparer les grandes zones migmatisées des granites les plus anciens, qui présentent des faciès hétérogènes et migmatitiques, et l'on peut observer tous les termes de passage. Comme le montrent les textures extrêmement déformées et d'allure fluidale, ces granites se sont encore formés pour l'essentiel durant les déformations, et probablement vers la fin des grandes périodes de plissements. Ce sont les ensembles granitiques les plus vastes, dont le type est le massif de la Téfedest.

Mais la formation des granites s'est poursuivie beaucoup plus tardivement, et l'on peut reconnaître, semble-t-il, une succession de granites de plus en plus indépendants des migmatites, de plus en plus réduits en volume, et de plus en plus discordants par rapport aux schistes cristallins, et enfin de plus en plus alcalins. Il y a tout lieu de penser que cette évolution a été continue et que tous les granites dérivent du matériel suggarien initial par une mobilisation de plus en plus poussée.

Enfin, il faut signaler un des traits les plus remarquables du Suggarien : c'est l'existence d'une zone dans laquelle toutes les roches prennent un faciès particulier que j'ai appelé *faciès d'In Ouzzal*, caractérisé par l'acquisition d'une structure subpegmatitique, l'existence de séries charnockitiques et le développement fréquent du faciès malgachitique. Ce faciès se développe dans une zone allongée du Nord au Sud du bloc Tanezrouft-Adrar, sur 800 km ; très large au Nord, cette zone se rétrécit et disparaît vers la frontière algéro-soudanaise, pour reprendre un peu plus à l'Ouest en s'élargissant jusqu'au Sud de l'Adrar [Radier, 1957 ; Karpoff, 1958]. L'étude en a été reprise en Ahaggar par P. Giraud.

2. CYCLE PHARUSIEN. — Bien que les séries pharusiennes se présentent avec des caractères tout à fait différents de ceux du Suggarien, comme nous l'avons vu précédemment, il est remarquable de constater un même schéma de développement dans le cycle orogénique.

Les séries pharusiennes sont partout métamorphiques. Mais l'intensité de ce métamorphisme est très variable, suivant les régions et suivant les bassins. Cependant, le métamorphisme général pharusien est essentiellement méso- ou épizonal ; nulle part en Ahaggar on n'observe la catazone.

On ne connaît pas encore de façon précise les variations de ce métamorphisme. Cependant, la disposition du substratum suggarien joue un rôle certain. Dans le fossé d'Ahaggar occidental, les bordures sont souvent moins métamorphiques que les régions plus centrales ; dans l'Ahaggar oriental, B. Guérangé et P. Vialon ont montré que le métamorphisme est faible au Sud-Ouest, où le substratum est sans doute à faible profondeur, tandis qu'il se développe plus nettement vers le Nord-Est, où le substratum semble avoir été plus profond et moins rigide.

Lorsque la foliation des schistes cristallins est bien développée, on constate encore très généralement son étroit parallélisme avec la stratifica-

tion. Par contre, dans les régions où le métamorphisme est de moindre degré, les choses sont moins nettes et plus complexes. Ce problème des relations de la foliation, de la schistosité et des microplissements vient d'ailleurs d'être repris par B. Guérangé et les premiers résultats sont déjà très prometteurs, mais je ne saurais insister ici.

Au métamorphisme pharusien se relie très probablement les phénomènes de rétro-métamorphisme observés fréquemment dans le Suggarien ; mais la question n'a pas encore été approfondie.

La tectonique pharusienne est maintenant assez bien connue dans son ensemble, mais insuffisamment dans le détail. Elle est, dans son ensemble, différente de celle du Suggarien, visiblement dirigée par la disposition générale en fossés tectoniques. Tandis que la tectonique suggarienne est généralement de style isoclinal ou jurassien, dans le Pharusien elle est ordinairement commandée par le serrage et les déplacements des blocs rigides limitant les fossés. On observe en effet la superposition souvent très nette de deux types de plissements : d'une part des plissements souples souvent isoclinaux résultant visiblement de phénomènes de compression ; d'autre part des plis à axes verticaux qui résultent de mouvements de coulissage.

La migmatisation a affecté largement aussi le Pharusien dans un grand nombre de régions. Ici encore, certaines « migmatites » apparaissent antérieures aux phases de plissements ; ce sont principalement des « embréchites » [Ranoux, 1959], mais dont il est difficile d'en séparer la formation de l'épisode de métamorphisme général.

Ici encore, cependant, la migmatisation essentielle paraît bien s'être effectuée vers la fin des grandes phases de plissement. Elle a donné principalement des migmatites hétérogènes qui passent généralement de façon insensible à des granites.

La migmatisation pharusienne semble moins développée, dans l'ensemble, que la migmatisation suggarienne, du moins dans les zones que nous pouvons observer. Par contre, comme l'a fait très justement remarquer R. Karpoff [1960], les granites pharusiens prennent un développement considérable, beaucoup plus grand que les

granites suggariens. Peut-être cela tient-il simplement des étages de dénudation différents que nous pouvons observer ?

Parmi ces innombrables massifs granitiques on a pu mettre en évidence une succession dans le temps, correspondant à une évolution des caractères géologiques et pétrographiques. La chronologie dégagée par R. Karpoff dans l'Adrar des Iforas est tout à fait comparable à celle que j'ai reconnue en Ahaggar. C'est là, évidemment, un problème très vaste et très difficile, qui apparaît d'autant plus compliqué que les observations précises se multiplient. La plupart des massifs granitiques sont en effet complexes, et d'autant plus, semble-t-il, qu'ils sont plus jeunes ou plus circonscrits.

L'évolution d'ensemble est très comparable à celle des granites suggariens. Les granites les plus anciens sont hétérogènes, liés aux migmatites, granodioritiques, mal définis. Puis des granites calco-alcalins forment de vastes massifs recoupant les migmatites mais passant, semble-t-il, à des granites en massifs plus réduits qui écartent souvent les schistes cristallins qu'ils traversent, comme à Tinnirt [Ranoux, 1959]. Enfin, les granites discordants sont de dimensions relativement réduite, souvent groupés en essaims de massifs à structure annulaire complexe : ce sont les « granites des taourirts », alcalins à biotite, actuellement étudiés par J. Boissonnas [1958, 1960] et, dans l'Adrar des Iforas et l'Aïr, des granites à riébeckite et aegyrine. Ces granites « ultimes » sont souvent liés à des phénomènes pneumatolytiques intenses et à des minéralisations, principalement en étain et tungstène.

Dans cette évolution qui conduit des migmatites aux plutons et même probablement au volcanisme rhyolitique [Gravelle, 1960], il devient de plus en plus difficile de faire des coupures nettes. Mais nous en sommes encore au stade analytique, et c'est l'« anatomie comparée » des vieilles chaînes de montagnes, selon l'expression de C. E. Wegmann qui permettra de relier l'évolution pétrogénétique profonde à l'évolution géodynamique dans le temps et dans l'espace. Les conclusions qui paraissent actuellement se dégager sont en tout cas extrêmement voisines de celles de L. Glangeaud à propos des chaînes moins anciennes.

III. Structure.

Un des résultats les plus remarquables des recherches récentes, c'est de mettre en évidence la netteté de la structure d'ensemble de l'Ahag-

gar, et en particulier la continuité des grands accidents cassants qui affectent le socle antécambrien.

On est encore loin de pouvoir établir une chronologie et une hiérarchie précises dans l'immense réseau de ces accidents ; mais quelques traits essentiels semblent déjà se dégager.

Les accidents les plus anciens se marquent nettement déjà dès la fin du cycle suggarien : ils déterminent la disposition en fossés des compartiments pharusiens. Le plus remarquable est celui que l'on suit du Nord au Sud de l'Ahaggar, presque rigoureusement rectiligne suivant le méridien $4^{\circ}50'$. Mais dans sa moitié sud, un autre accident se greffe vers le Sud-Sud-Ouest, correspondant au horst suggarien allongé de l'W de Timg'aouine. On constate que les accidents qui bordent le horst suggarien Tanezrouft-Adrar ont la même direction d'ensemble. A l'Est, un autre accident, mais NNW-SSE, vient enserrer le bassin pharusien de l'Arefsa. Plus à l'Est encore, ce sont de grands accidents à peu près méridiens qui limitent le horst suggarien Anahef-Aïr. On ne voit guère encore de relations nettes entre ces accidents et la structure des séries suggariennes.

Tous ces grands accidents ont incontestablement joué durant le cycle pharusien, et des failles et décrochements affectent à la fois Suggarien et Pharusien. Mais d'autres accidents se greffent aux précédents, sans qu'on puisse affirmer qu'ils ne sont pas antérieurs : ainsi, dans le Suggarien de l'Ahaggar central, à la grande ligne de dislocation Amguid-Arefsa se greffe un accident courbe qui enserre la Téfedest par l'Est pour aboutir vers Aouilène, tandis qu'un autre longe la Téfedest par l'Ouest, se raccordant à ses extrémités à la cassure de $4^{\circ}50'$. Dans l'Adrar des Iforas [Karpoff, 1958], un vaste accident longe à l'Ouest la zone à faciès In Ouzzal. La plupart de ces accidents correspondent à de puissantes zones de mylonites subverticales, atteignant plusieurs kilomètres d'épaisseur. La plupart du temps, il est évident que les déplacements latéraux ont joué un rôle majeur : ainsi, la Téfedest a glissé vers le Sud par rapport au compartiment situé au Sud-Ouest ; mais on n'est pas encore en mesure de définir le sens et l'importance de la plupart de ces mouvements.

Certains de ces accidents n'ont plus joué ensuite : c'est la cas de la grande zone mylonitique recoupée par le granite taourirt d'In Eker. Mais la plupart ont joué postérieurement.

Ce jeu vers la fin du cycle pharusien est mis en évidence par l'écrasement de certains massifs

de granites taourirts, qui recoupent cependant des zones mylonitiques. Il se traduit aussi par l'existence de lambeaux de séries détritiques nigriniennes ou plus récentes enserrées entre des failles sur ces accidents eux-mêmes, comme au N et au S d'Aouilène.

Mais des accidents transversaux recoupent les zones pharusiennes : la discordance faillée de $4^{\circ}50'$ est décrochée par une succession de cassures NE-SW qui la déplacent légèrement vers le Sud-Ouest. Le bassin pharusien de l'Ahaggar oriental est décroché au Sud par une longue cassure qui le déplace de plus de 40 km vers le Sud-Est, tronçonnant un massif de granite « jeune ».

Ce jeu des grands accidents, nous le retrouvons durant toute l'évolution géologique postérieure et même jusqu'aux périodes subactuelles.

Il est, tout d'abord, fort possible que le grand accident médian de l'Adrar des Iforas se prolonge vers le Nord et rejoigne la zone subsidente où s'est déposée la série de l'Ahnet. Mais la liaison avec les déformations de la couverture paléozoïque, principalement lors des plissements hercyniens, est évidente : les zones les plus déformées des tassilis se placent sur le prolongement des grands accidents antécambriens.

L'exemple le plus remarquable est celui de la cassure Arefsa-Amguid (que l'on suit d'ailleurs au Sud-Est jusqu'à l'E de l'Aïr), qui se prolonge très loin vers le Nord dans le Paléozoïque, qui se marque encore dans les déformations du Crétacé, et qui a nettement joué jusqu'au Quaternaire [Biro et Dresch, 1955]. Il en est de même pour les grands accidents de l'Ahaggar oriental, dont on peut suivre nettement le prolongement vers le Nord-Nord-Ouest dans la couverture.

Cette analyse, qu'il nous est impossible de développer ici, présente sans aucun doute un intérêt capital pour l'étude et l'interprétation de la couverture sédimentaire. Pour autant qu'on puisse connaître les résultats des campagnes de géophysique poursuivies par les pétroliers, ceux-ci conduisent à prolonger très loin vers le Nord les grandes zones d'accidents antécambriens. Encore n'avons-nous considéré ici que les cassures majeures subméridiennes ; mais il serait tout aussi intéressant de considérer celles de directions E-W, SW-NE, SE-NW, etc., qui transparaissent avec évidence en linéaments remarquables dans l'ensemble de la couverture sédimentaire.

Conclusions.

Nous ne pouvions ici qu'effleurer quelques points de la géologie de l'Antécambrien de l'Ahaggar. Nous ne sommes encore qu'au début de sa connaissance. D'ores et déjà, cet Antécambrien apparaît nettement comme un des plus clairs et des plus spectaculaires du monde.

D'innombrables problèmes y apparaissent dans des conditions telles qu'on peut espérer pouvoir les résoudre. Encore faut-il les aborder sans idées préconçues, et tout d'abord par l'analyse raisonnée du terrain, dans tous les ordres de grandeur.

Bibliographie.

- BIROT P. et DRESCH J. (1955). — Une faille du Quaternaire récent dans la plaine d'Amguid (Hoggar septentrional). *C. R. somm. S. G. F.*, p. 209-211.
- BLAISE J. (1956). — Sur la présence d'une série de type nigrilien dans l'Antécambrien de l'Ahaggar oriental (Sahara central) : la série de Tiririne. *C. R. Ac. Sc.*, t. 243, p. 1225.
- (1958). — Une « série intermédiaire » au Sahara central : la série de Tiririne (Ahaggar oriental). In *Les relations entre Précambrien et Cambrien. Problèmes des séries intermédiaires. Coll. intern. C. N. R. S.*, n° LXXVI, p. 217.
- BOISSONNAS J. (1958). — Stades successifs de la formation du massif de granite intrusif d'In-Tounine (Hoggar central). *C. R. Ac. Sc.*, t. 248, p. 432-433.
- (1959). — Observations sur le massif granitique du Tioueiine (Hoggar occidental). *Publ. Serv. Carte géol. Algérie, Bull.* n° 25, p. 9-18.
- (1960). — Sur les structures concentriques des granites jeunes traversant le Pharusien du Hoggar (Sahara central). *C. R. Ac. Sc.*, t. 250, p. 4016-4017.
- BOUVET M. et REBOUL C. (1959). — Étude géologique de la feuille au 200 000^e Timgaouine. *Bull. scient. écon. B. R. M. A.*, n° 7.
- B. R. P., etc. (1959). — Contribution à l'étude du Cambrien et de l'Ordovicien du Sahara. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 194-195.
- BYRAMJEE R. (1959). — Le complexe éruptif de l'Adrar Denat (Adrar des Iforas). *Bull. scient. écon. B. R. M. A.*, n° 6, p. 5-23.
- DUPLAN L. (1959). — Les conditions de sédimentation de la série de l'Eg'éré dans l'Antécambrien du Hoggar (Sahara central). *C. R. Ac. Sc.*, t. 249, p. 2359-2361.
- GEVIN P. (1960). — Études et reconnaissances géologiques sur l'axe cristallin Yetti-Eglab et ses bordures sédimentaires. 1^{re} partie : Bordures sédimentaires. *Publ. Serv. Carte géol. Algérie (nouv. sér.)*, *Bull.* n° 23.
- GRAVELLE M. (1960). — Exemples de relation entre granites et roches volcaniques ou hypovolcaniques acides dans le Précambrien de la région de Silet (Sahara central). *Rev. Géog. phys., Géol. dyn.*, (2), t. III, p. 87-93.
- GRAVELLE M. et LELUBRE M. (1957). — Découverte de Stromatolithes du groupe des *Conophyton* dans le Pharusien de l'Ahaggar occidental (Sahara central). *B. S. G. F.*, (6), VII, p. 435-442.
- GUÉRANGÉ B. et VIALON P. (1960). — Le Pharusien du bassin de Djanet dans la région du Tafassasset moyen (Ahaggar oriental-Sahara central). *C. R. somm. S. G. F.*, p. 57-59.
- KARPOFF R. (1946). — Stratigraphie de l'Antécambrien au Sahara. Le Nigrilien. *C. R. Ac. Sc.*, t. 223, p. 428-429.
- (1958). — La géologie de l'Adrar des Iforas (Sahara central). Thèse Fac. Sc. Paris. Paru in *Bull. Serv. géol. et Prosp. min. A. O. F.*, n° 30, 1960.
- KILIAN C. (1922). — Aperçu général de la structure des Tassilis des Ajjer. *C. R. Ac. Sc.*, t. 175, p. 825.
- (1932). — Sur des conglomérats précambriens du Sahara central. le Suggarien et le Pharusien. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 87.
- LELUBRE M. (1951). — Découverte de *Collenia* dans le Pharusien de l'Ahnnet (Sahara central). *C. R. somm. S. G. F.*, p. 88-89.
- (1952). — Recherches sur la géologie de l'Ahaggar central et occidental (Sahara central). *Bull. Serv. Carte géol. Algérie*, 2^e sér., n° 22, t. I et II.
- (1957). — La « série pourprée de l'Ahnnet » et le problème des séries intermédiaires au Sahara central. *Coll. intern. C. N. R. S.*, n° LXXVI, p. 173-188.
- RANOUX J. (1959). — Étude du Pharusien du Hoggar occidental entre Silet et le Tesnou. *Bull. scient. écon. B. R. M. A.*, n° 6, p. 89-102.
- RAULAIS M. (1959). — Esquisse géologique sur le massif cristallin de l'Air (Niger). *B. S. G. F.*, (7), I, p. 207-223.
- WEGMANN C. E. (1938). — Geological investigations in Southern Greenland. Part I : On the structural divisions of Southern Greenland. *Meddel. om Grønland*, Bd 113, n° 2.

Les affleurements de « séries intermédiaires » dans la région de Silet (Ahaggar occidental, Sahara central)

par Michel GRAVELLE *.

Sommaire. — Affleurements de dimensions réduites (0,5 à 30 km²), découverts de 1955 à 1960 dans la partie est du fossé pharusien de l'Ahaggar occidental et sur la marge ouest du horst suggarien de l'Ahaggar central, entre les parallèles 21° 45' et 22°. Leurs limites actuelles correspondent à des fronts d'érosion ou à des failles.

Ces formations détritiques et volcaniques, dépourvues de fossiles, plissées et peu ou pas métamorphiques, reposent soit sur les schistes cristallins pharusiens (avec discordance souvent flagrante), soit sur un granite suggarien. Leurs rapports avec la couverture cambro-ordovicienne (grès des Tassilis internes) sont inconnus ; cette dernière étant réduite, dans le secteur étudié, à quelques buttes témoins éparses.

Toutefois les caractéristiques lithologiques et structurales suffisent à distinguer très nettement ces ensembles volcano-détritiques des grès et conglomérats tassiliens et permettent de les rattacher avec vraisemblance aux séries intermédiaires.

Ces séries intermédiaires de la région de Silet offrent certaines analogies avec le Nigritien de l'Adrar des Iforas notamment.

Mais faute de critère paléontologique et sans mesures d'âge absolu, toute tentative de corrélation, même entre affleurements rapprochés, reste pure hypothèse.

Introduction.

C'est aux travaux classiques de C. Kilian [1922, 1932] puis de M. Lelubre [1952, 1953], que l'on doit la mise en évidence des traits structuraux majeurs du Sahara central, se résumant ainsi :

1) existence d'un socle métamorphique antécambrien recouvert en discordance (discordance tassilienne) par les grès inférieurs des Tassilis, dont l'âge est cambro-ordovicien ou ordovicien.

2) présence dans le complexe métamorphique antécambrien de deux termes superposés : le Suggarien (plus ancien) et le Pharusien (plus récent), séparés par une discordance majeure et correspondant à deux cycles orogéniques successifs.

Le schéma structural proposé ci-dessus doit être en outre complété, de façon à tenir compte de constituants occasionnels qui compliquent parfois l'édifice. Il s'agit de lambeaux, souvent restreints, de formations détritiques ou volcaniques, plissées et peu ou pas métamorphiques, qui reposent en discordance sur le Pharusien. Leurs caractéristiques les différencient incontestablement des grès et conglomérats du Tassili interne qui, d'ailleurs, les recouvrent encore en certains points.

Pour les formations de ce type, qui, en l'absence d'arguments paléontologiques, ne peuvent être rattachées avec certitude ni à l'Antécambrien, ni au Paléozoïque inférieur, N. Menchikoff [1957] et P. Pruvost [1957] ont récemment proposé d'employer la dénomination de « séries intermédiaires ».

Cette expression avait été utilisée par P. Legoux, en 1939, pour désigner des séries peu épaisses situées entre le Birrimien et le Cambrien certain¹.

Le problème des séries intermédiaires a fait, en juillet 1957, l'objet d'un débat international (*Coll. intern. C. N. R. S.*, n° LXXXVI) auquel participèrent de nombreux spécialistes. On trouvera dans les articles de M. Lelubre [1957] et R. Karpoff [1957] notamment, des discussions relatives à la signification des séries interm-

* Bureau de recherches géologiques et minières. Direction Algérie. O. C. R. S. Nord, Alger. Note présentée à la séance du 24 avril 1961.

1. Expression reprise par J. Follet [1952] pour qualifier les formations schisto-gréseuses et conglomératiques, non métamorphiques et plissées, intercalées entre le Pharusien et les Grès inférieurs de l'Ahnnet et du Bled el Mass.

diaires du Sahara central et à leur place dans l'histoire antécambrienne de l'Afrique.

Je me propose simplement ici d'apporter

quelques nouveaux éléments d'information, en complétant la liste des affleurements de « séries intermédiaires » déjà inventoriés.

I. Généralités sur les séries intermédiaires de l'Ahaggar.

Jusqu'à une époque récente, les témoins de séries intermédiaires paraissaient faire totalement défaut en Ahaggar. Ils étaient reconnus, par contre, dans l'Ahnnet et l'Aseg'rad, avec la « série pourprée » [Monod et Bourcart, 1931-1932 ; Follet, 1948, 1952] et dans l'Adrar des Iforas, avec le Nigritien [Karpoff, 1946-1957]. Mais les études géologiques récentes et les campagnes de prospection minière entreprises en Ahaggar depuis 1953² ont entraîné la découverte de nombreux témoins épars de formations détritiques ou volcaniques, assimilables aux séries intermédiaires.

Ces témoins se dispersent du Nord au Sud, sur près de 800 km, entre les 20 et 27° de latitude nord.

Dans la région d'Amguid, à la limite septentrionale du pays cristallin, leur découverte est due d'abord à J.-Y. Thébaud [1955], puis, tout

récemment, à J. Borocco et R. Nyssen [1959].

Cl. Reboul et M. Bouvet [1959] ont étudié et cartographié les séries intermédiaires du Sud de l'Ahaggar occidental, sur le territoire des feuilles au 200 000^e de Timg'Aouine et de Ti-n-Rerhoh.

Mes recherches personnelles, enfin, concernent les feuilles au 200 000^e de Silet et Tibehaouine et leur environnement immédiat (marges nord de la feuille Timg'Aouine, ouest de la feuille Fort-Laperrine et est de la feuille Tekhammalt).

Dans l'état actuel des travaux sur l'Ahaggar, on peut remarquer que tous les témoins incontestables de séries intermédiaires se cantonnent curieusement à l'W du méridien 5°30'. Les études de B. Guérangé et P. Vialon [1960], dans la région du Tafassasset moyen, viennent en effet de remettre en question l'existence même de la « série de Tiririne » [Blaise, 1956, 1957]³.

II. Les témoins de séries intermédiaires dans la région de Silet.

A) GÉNÉRALITÉS. — Le secteur exploré correspond à un rectangle de 200 km de longueur (d'Est en Ouest) et de 100 km de largeur (du Nord au Sud), compris sensiblement entre les 3^e et 5^e méridiens (longitude E) et les parallèles 21°45' et 22° (latitude N).

À l'échelle du Sahara central, cette bande rectangulaire apparaît comme un pont étroit jeté sur le fossé pharusien de l'Ahaggar occidental [Lelubre, 1952] et s'appuyant, à l'Est et à l'Ouest, sur les horsts suggariens de l'Ahaggar central et du Tanezrouft oriental.

Les témoins de séries intermédiaires étudiés ici se situent tous, à une exception près, dans la moitié orientale du fossé pharusien. Un seul d'entre eux, en effet, a été découvert en domaine suggarien, à l'E de la grande faille méridienne (4°50') qui limite brutalement ce fossé à l'Est [Gravelle, 1959].

Ces témoins se présentent comme des lambeaux résiduels de formations détritiques ou volcaniques, plissées et très peu métamorphiques, reposant soit sur les schistes cristallins pharusiens (avec discordance angulaire souvent flagrante), soit sur le granite du socle suggarien de l'Est.

Les dimensions, aujourd'hui fort modestes,

des affleurements (quelques kilomètres carrés) ne permettent pas de préjuger leur extension initiale ; les limites actuelles correspondent à des fronts d'érosion ou à des failles.

En outre, la localisation des lambeaux témoins paraît sous l'étroite dépendance des jeux successifs des grandes cassures subméridiennes ou SW-NE sillonnant la région. Les panneaux effondrés, soustraits partiellement aux rigueurs de l'érosion, ont pu conserver plus aisément que les gradins restés en relief, des vestiges de leur « couverture ».

Par leur constitution lithologique et leurs caractères structuraux, les séries intermédiaires de Silet offrent certaines analogies avec le Nigritien de l'Adrar des Iforas [Karpoff, 1946, 1957, 1960, p. 197] et le Précambrien III de l'Anti-Atlas occidental [Hupé, 1952, 1957 ; Choubert, 1957] notamment, mais, dans l'état actuel

2. Sous l'égide du Service de la Carte géologique de l'Algérie et du Bureau de Recherches minières d'Algérie (B. R. M. A.), puis du Bureau de Recherches géologiques et minières (B. R. G. M.). On trouvera, in J. Ranoux [1959], une mise au point relative à ces recherches récentes.

3. Pour P. Guérangé et J. Vialon, la série de Tiririne correspondrait à un Pharusien peu métamorphique, mais localement granitisé.

des études du moins, aucun critère n'autorise à tenter de parallélisme précis.

Cette réserve exprimée, j'utiliserai souvent ici le terme « Nigritien », dont l'emploi est commode, en le considérant comme synonyme de l'expression « série intermédiaire ».

B) DESCRIPTION DES DIVERS AFFLEUREMENTS.

1. *L'Adrar Bourzekkal* (21°55' de latitude N ; 4°13' de longitude E). Le premier témoin de série intermédiaire signalé en Ahaggar central est celui de l'Adrar Bourzekkal. Il a été identifié en novembre 1955, au cours d'une tournée générale de reconnaissance, effectuée en compagnie de M. Lelubre et L. Duplan, dans la partie septentrionale de la feuille Timg'Aouine. Par la suite et dans le cadre d'un travail général consacré au fossé pharusien de l'Ahaggar occidental, j'ai repris avec plus de détail l'examen de cet affleurement. Les résultats de cette étude seront publiés ultérieurement ; on trouvera seulement ici un exposé résumé des principales caractéristiques de la « série de Bourzekkal ».

Les grès et les poudingues couronnant la falaise de l'Adrar Bourzekkal étaient autrefois interprétés comme des conglomérats pharusiens intraformationnels [Lelubre, 1952]. Toutefois M. Lelubre [1952, t. II, p. 46] notait déjà à leur propos « une certaine opposition avec les séries migmatiques qui affleurent à l'Ouest, de telle sorte qu'on peut se demander au premier abord s'il n'y aurait pas de discordance avec ces séries ».

Cette discordance, tout à fait insensible pour un observateur circulant sur le revers oriental de la colline, faillé et partiellement couvert d'éboulis, s'impose par contre avec évidence lorsqu'on aborde l'Adrar Bourzekkal par son flanc ouest.

Le schéma géologique (fig. 1) indique quelles sont les dimensions et la forme de ce lambeau témoin de série intermédiaire (étroite bande N-S de 4,5 km de longueur et dont la largeur varie entre 0,5 et 0,8 km) et donne un aperçu de sa structure.

En première approximation, on peut interpréter l'Adrar Bourzekkal comme un monoclin à pendage est, faillé sur son revers oriental et découpé en outre par une série de fractures parallèles orientées SSW-NNE. Dans la partie située au S de la faille F1 du schéma, la structure est en fait plus complexe (véritables plis). Au N de cet accident, le front de la falaise, lorsqu'il n'est pas ensablé, offre une bonne coupe des horizons inférieurs et moyens du monoclin. Au pied de l'escarpement, on peut alors observer le contact très spectaculaire entre les couches pharusiennes presque verticales à direction N 25° E et les pre-

miers horizons nigritiens à pendage est faible ou moyen (30 à 40°).

Le schéma géologique (fig. 1) indique en outre clairement que la série de Bourzekkal comprend deux unités superposées, séparées par une discordance. L'unité inférieure, ou série A, comporte essentiellement des schistes, pélites gréseuses et microgrès à débit en plaquettes ; l'unité supérieure, ou série B, est constituée de matériaux détritiques plus grossiers : brèches et surtout grès fins à moyens avec nombreuses lentilles conglomératiques.

La discordance de la série B sur la série A est faible, mais incontestable. Elle traduit l'existence de deux épisodes distincts de sédimentation, séparés par une phase tectonique et une période d'érosion.

a) *Série A* (Bourzekkal inférieur). La partie médiane de la colline de Bourzekkal, au niveau même du col central, fournit la coupe la plus complète. Ici la série A occupe les deux versants du relief ; la série B est en effet réduite, dans ce secteur, à un lambeau témoin de quelques centaines de mètres carrés.

La coupe observée est la suivante (d'Ouest en Est et de bas en haut) :

- substratum pharusien : conglomérat polygénique laminé en couches très redressées (direction N 25° E, pendage 60° W).
- discordance (ici masquée par éboulis).
- éboulis sur schistes ; 12 m.
- schistes microgréseux vert pâle, bien fissiles ou en plaquettes, avec prismes d'hématite ; 8 m.
- schistes gréseux gris-noir avec intercalations de grès feldspathiques fins à ciment quartzo-calciteux ; 12 m.
- schistes microgréseux vert pâle à débit en plaquettes ; 15 m. (Au microscope : microgrès à ciment quartzo-chlorito-sériciteux.)
- grès noirs fins, légèrement feldspathiques, à ciment quartzo-sériciteux, avec lentilles de microbrèches et de poudingues à petits éléments (1 cm) ; 16 m. Le sommet de cette formation occupe la ligne de crête.
- grès fins gris à ripple-marks, localement débit en plaquettes, alternant avec schistes gréseux à fine stratification entrecroisée ; 50 m.
- chicot de série B discordante.
- suite du monoclin série A avec : schistes gréseux fins gris, à stratification entrecroisée et ripple-marks ; 175 m.
- éboulis, masquant le contact tectonique entre série A et Pharusien affleurant à l'E de l'Adrar Bourzekkal.

Puissance totale observable : 290 m.

Les faciès varient latéralement (du Nord au Sud). Ainsi, à l'extrémité méridionale de l'Adrar Bourzekkal, la série « nigritienne » débute directement par des schistes et des schistes gréseux ; au Nord, au contraire, ce sont des brèches polygéniques (taille des éléments variant entre

quelques millimètres et quelques décimètres) qui reposent sur les couches pharusiennes subverticales. En outre, les épaisseurs paraissent augmenter rapidement du Sud vers le Nord, notamment pour les schistes microgréseux verts du niveau supérieur.

On peut signaler enfin la présence d'horizons décimétriques de pélites gréseuses violacées à cachet encore argileux, visibles à plusieurs

niveaux dans les falaises au N du col central. Les échantillons les plus tendres ont été lavés sans succès pour microfaune; les échantillons plus indurés se présentent en lames minces comme des pélites gréseuses à ciment quartzosériciteux et limonitique.

Le métamorphisme de cette série A paraît faible ou nul suivant les horizons considérés. Il est incontestable dans les schistes gréseux vert

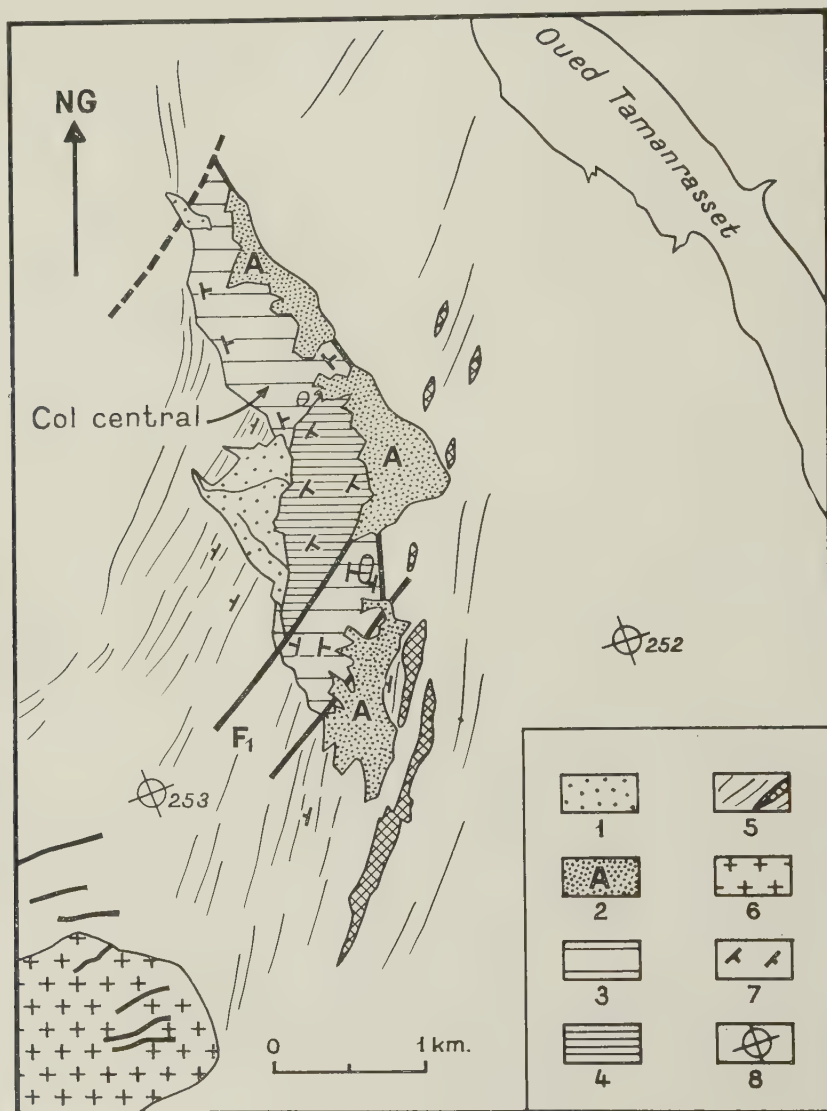


FIG. 1. — Croquis géologique de la région de l'Adrar Bourzekkal.

- 1 : dunes ; 2 : zones couvertes d'éboulis ou ensablées ; 3 : série de Bourzekkal, partie inférieure (série A) ; 4 : série de Bourzekkal, partie supérieure (série B) ; 5 : Pharusien, phyllades, prasinites et surtout conglomérats avec intercalations de rhyolites (figuré quadrillé) ; 6 : granite ; 7 : pendages, faible à moyen, fort (de gauche à droite) ; 8 : emplacement des centres des photographies NF 31. X-XI 252 et 253.

pâle ; là, les grains clastiques de quartz et de plagioclases baignent dans une matrice chlorito-sériciteuse où l'orientation marquée des phyllites détermine une schistosité très nette à l'échelle microscopique.

b) *Série B* (Bourzekkal supérieur). Cette série est bien représentée au S du col central. Dans ce secteur, c'est elle qui détermine la falaise couronnant la colline, dont elle occupe en outre tout le versant oriental.

La coupe est la suivante (d'Ouest en Est et de bas en haut) :

- grès fins gris en petits bancs du « sommet » de la série A.
- discordance.
- conglomérat polygénique de base, à éléments anguleux mêlés à des galets arrondis (taille 1 à 10 cm) ; ciment gréseux ou microbréchique ; 2 m.
- sable et éboulis ; 8 m.
- poudingue avec galets bien calibrés, taille moyenne, 4 à 8 cm (granite, quartzite, quartz et rhyolite), dispersés dans un ciment gréseux avec séricite et glauconie ; 9 m.
- grès fins à moyen avec patine brune ; quelques récurrences conglomératiques à la base ; 10 m.
- poudingue, d'abord dépourvu de stratification et analogue au niveau de 9 m de puissance cité précédemment, puis passant progressivement à une alternance de bancs (10 à 30 cm d'épaisseur) à galets et d'horizons purement gréseux ; 15 m.
- grès quartzueux, à petits éléments (1 à 2 cm) anguleux de quartz, granite, quartzite et prasinite ; quelques lentilles à galets bien roulés (5 à 10 cm) de même nature ; 10 m. Cette formation occupe la ligne de crête.
- alternance répétée de lits (20 à 80 cm) de poudingue à galets dispersés et de lits (10 à 15 cm) purement gréseux ; 15 m.
- grès quartzueux blancs ou verts à grain moyen, patine gris brunâtre, admettant de nombreuses lentilles riches en galets arrondis ou anguleux de petite taille (1 à 5 cm, très rarement 10 cm) ; 150 m environ.
- éboulis masquant le contact tectonique avec le Pharusien affleurant à l'E de l'Adrar Bourzekkal.

Puissance totale observable : 220 m.

La présence locale de glauconie plaide en faveur d'une sédimentation en milieu marin. Dans les niveaux conglomératiques, on observe fréquemment la juxtaposition d'éléments encore très anguleux et de galets arrondis, souvent de même nature lithologique. Cette caractéristique, que nous retrouverons dans presque toute les séries intermédiaires de la région de Silet, implique un mélange d'alluvions d'origines diverses.

Dans le cadre des programmes de recherche du diamant au Hoggar [Thébault, 1959], les grès et poudingues de la série B ont été examinés par A. Cailleux, J. Bertraneu et J.-Y. Thébault.

Ces auteurs, après étude de diverses caractéristiques (indices d'hétérométrie, d'émoussé, d'aplatissement et de dissymétrie ; inclinaison

des galets ; mesures sur ripple-marks) sont conduits à envisager deux hypothèses pour la paléogéographie de ces formations. Il s'agirait, soit de dépôts en milieu lacustre recevant des apports torrentiels et fluviaux importants, soit de dépôts de plage marine rocheuse, agrémentée de deltas sous-marins ⁴.

2. *Séries intermédiaires du SW de la feuille Silet.*

a) *Région du confluent des Oueds Tinef et Tamanrasset.* On trouve là un essaim de chicots ayant échappé à l'érosion et qui représentent sans doute des prolongements, vers le Nord, de la série de Bourzekkal. Des roches volcaniques (coulées et filons) accompagnent ici les faciès détritiques classiques (schistes, grès et conglomérats).

— *Sophia Loren.* Cette colline allongée, d'orientation générale SW-NE, est située à la limite sud de la feuille, dans l'enfourchure des Oueds Tinef et Tamanrasset. Les contacts avec le substratum sont bien visibles sur le flanc sud-est ; la limite ouest paraît faillée.

La série « nigritienne » commence par des phyllades et des grès fins violacés, avec passées conglomératiques. Ces couches, à très faible pendage ouest, reposent sur les schistes verts et conglomérats verticaux très granitisés du Pharusien. On passe ensuite à des rhyolites avec tufs probables. Ces rhyolites forment l'ossature du relief dont la structure devient confuse ; au sommet, on observe des coulées très redressées à pendages contradictoires et peut-être des filons.

— *La Baleine* (croupe orientée SSW-NNE, à 3 km au NW du centre de la photographie NF 31. X-XI n° 131).

La série, exclusivement rhyolitique, comporte probablement des tufs et des coulées (les faciès sont peu caractéristiques en lames minces) ployés en un large synclinal fracturé, d'axe NW-SE. La puissance de l'ensemble atteindrait une centaine de mètres.

La discordance de base n'est visible en aucun point. La limite orientale de l'affleurement semble faillée avec intense mylonitisation des rhyolites, bien observable notamment à la corne nord-est du relief. Tous les autres contacts sont masqués par un épais manteau d'éboulis. Le contraste est cependant saisissant entre la série rhyolitique (mollement ondulée et dépourvue de toute trace de granitisation) et son environnement pharusien (schistes et conglomérats redressés à la verticale et truffés de pointements granitiques).

4. Résultats encore inédits, communiqués par J.-Y. Thébault.

— *Le Croissant* (synclinal perché dessinant un arc à concavité nord-ouest, à 2 km au N du confluent des Oueds Tinef et Tamanrasset).

Les jaspes rhyolitiques brun rougeâtre, qui occupent le sommet de la série, reposent en concordance manifeste sur une semelle de grès feldspathiques et de conglomérats à cachet pharusien. Les relations de ces horizons détritiques « de base » et des conglomérats authentiquement pharusiens du secteur, doivent être précisées ; le mimétisme des faciès inquiète et conduit à envisager l'hypothèse d'un remaniement possible. Dans l'état actuel des levés, l'identité du Croissant reste donc sujette à caution.

b) *L'Adrar en fer à cheval* ($x = 4^{\circ} 11'$; $y = 22^{\circ} 11'$). Ses reliefs moroses dominent les grandes plaines de l'Ouest, à une vingtaine de kilomètres au N du confluent des Oueds Tinef et Tamanrasset. On trouve sur leur sommet l'affleurement « nigritien » le moins exigü (3 km²) de ce secteur occidental.

La série, exclusivement volcanique, comporte des tufs et des coulées de rhyolites calco-alcalines et de trachytes. Le complexe volcanique, resté dans l'ensemble horizontal, se réduit à une mince pellicule (50 à 100 m) couronnant les reliefs. Le contact avec les couches pharusiennes verticales et laminées (schistes, conglomérats et laves) se situe donc à mi-pente et la discordance apparaît nettement par endroits. Les laves nigritiennes, de teinte générale verdâtre, se révèlent assez transformées. On note, en lames minces, une silicification intense et le développement de cristallisations microscopiques très abondantes de biotite et muscovite d'origine probablement pneumatolytique. La pâte évolue en outre, par dévitrification, en microquartzite séréciteux.

3. *La série intermédiaire d'Amselka-In Abeless*. Dans la région d'Amselka-In Abeless, une étroite lanière de « Nigritien » détritique vient se greffer sur le horst suggarien de l'Ahaggar central, à la faveur d'un faisceau de failles qui prend en écharpe le coin sud-est de la feuille Silet. Le cours supérieur de l'Oued Tamanrasset suit fidèlement cette gouttière tectonique entre les puits d'In-Abeless et d'Amselka. La bande « nigritienne », effondrée entre deux failles parallèles, s'étire sur près de 30 km et mord légèrement sur la feuille Fort-Laperrine ; sa largeur n'excède jamais 1 km. À l'intérieur de la gouttière, le niveau d'érosion actuel atteint localement la base de la couverture nigritienne ; on observe alors les couches de grès ou de conglomérats directement transgressives sur le granite suggarien très mylonitisé.

Les grès et conglomérats d'Amselka reposent directement sur un granite d'âge suggarien ; on peut donc envisager *a priori* leur attribution, soit au Pharusien, soit aux « séries intermédiaires », soit encore au Primaire tassilien, ou même à toute autre formation postérieure. En fait, les analogies de faciès, complétées par des arguments structuraux, permettent de considérer ces niveaux détritiques, plissés et légèrement métamorphiques, comme des équivalents, au moins approximatifs, des autres lambeaux témoins « nigritiens » des feuilles de Silet et Tim-g'aouine.

Les caractères lithologiques de la série varient peu ; on observe une alternance confuse de sédiments détritiques fins (grès lie-de-vin à intercalations pélitiques) et d'épisodes conglomératiques (poudingues surtout, parfois brèches). L'ensemble est affecté de molles ondulations. Ce style tectonique, allié à une topographie sénile, limite malheureusement les possibilités d'observation.

Je décrirai très sommairement quelques « gisements » types pour donner un aperçu des caractéristiques de la série.

a) *Région sud : le Nigritien « des Balises »* (secteur situé à 2 km au NNW du centre de la photographie NF 31. X. XI n° 311 ; $x = 4^{\circ} 53' 30''$, $y = 22^{\circ} 03' 30''$).

À ce niveau, la série se réduit à une brèche polygénique à ciment arkosique grossier, passant latéralement, vers le Nord-Est, à des grès fins feldspathiques de couleur lie-de-vin. Les éléments de la brèche sont très anguleux ; leur taille varie entre 1 et 10 cm. Parmi eux on identifie notamment : granite rose à grain moyen (Suggarien), microgranite à structure porphyrique, microquartzites gris verdâtre, rhyolites (le tout en abondance) ; schistes lie-de-vin — très petits fragments inférieurs à 1 cm — et calcaires cristallins (rares).

Le ciment correspond à une purée arkosique irrégulièrement répartie. En fait, il est souvent impossible de différencier nettement la pâte des galets, les débris les plus fins servant de ciment pour les fragments plus volumineux. Localement, on note dans la brèche des bouffées de grès fins feldspathiques lie-de-vin, avec passage brutal d'un faciès à l'autre.

b) *Région du puits d'Amselka*. Dans ce secteur, les grès fins lie-de-vin, plissés en vagues souples, portent localement des stigmates d'écrasement et de silicification. Il n'y a pas de conglomérats. On observe un faciès de type flysch, avec petits bancs de grès calcaireux fin lie-de-vin de 10 à

30 cm d'épaisseur s'intercalant dans des pélites gréseuses schistoïdes et violacées.

L'examen en lame mince donne les résultats suivants :

— « Grès calcaireux fin » : grès fin quartzo-feldspathique mal calibré à éléments clastiques très anguleux (50 à 400 microns); ciment calcaro-pélitique. Ébauche d'évolution vers microquartzite par recristallisations locales; rares néogénèses microscopiques de séricite et chlorite. Fine pigmentation limonitique.

— « Pélite gréseuse » : grès très fin quartzo-feldspathique bien calibré avec éléments anguleux ou émoussés de 50 à 250 microns. Quartz clastiques souvent très allongés; ciment calcaro-pélitique rare. Recristallisation locale de la calcite du ciment; rares néogénèses très ténues de séricite et zoisite. Fine pigmentation limonitique.

c) *Entre Amselka et In-Abeless*. On voit apparaître ici, dans les grès fins lie-de-vin classiques, plusieurs niveaux de poudingues à galets surtout granitiques. Les collines dominant la rive gauche de l'Oued Tamanrasset, à 3 km en aval d'In-Abeless, offrent quelques coupes intéressantes permettant d'observer la base de la série détritique.

Un panneau monoclinal basculé vers l'Ouest fournit notamment la succession suivante :

- granite mylonitisé du substratum suggarien;
- conglomérats inférieurs : puissance 200 m;
- grès fins intermédiaires : 150 m;
- conglomérats supérieurs : 200 m visibles;
- alluvions de l'Oued Tamanrasset, masquant ici le contact tectonique avec le Suggarien.

Les caractères généraux des conglomérats du secteur peuvent se résumer ainsi : conglomérats polygéniques à forte hétérométrie; coexistence de graviers anguleux de taille souvent inférieure à 1 cm et de galets émoussés, parfois même par-

faitement arrondis, d'un diamètre moyen variant entre 5 et 30 cm.

La pâte, à répartition très irrégulière, correspond à un grès arkosique grossier peu consolidé; les galets s'en dégagent facilement.

Chez les galets on remarque la prédominance écrasante du granite rose (faciès suggarien local) à grain fin ou moyen : 80 %; microgranite à structure porphyrique et rhyolite à petits phénocristaux de quartz et de feldspath sont relativement fréquents; leptynite ocellée (faciès série de Tinef), corne verte cryptocristalline, pegmatite et quartz filonien restent rares.

Le faciès lithologique des éléments et leur morphologie indiquent, ici encore, un transport faible. Toutefois, la présence de quelques galets parfaitement arrondis, mêlés à des éléments de même nature pétrographique et de même dimension n'ayant subi qu'une faible usure (anguleux à coins et arêtes émoussés), suggère l'idée d'un mélange d'alluvions de provenances diverses.

d) *Région d'In-Abeless*. Les beaux affleurements de la rive droite de l'Oued Tamanrasset montrent l'apparition brutale d'épisodes détritiques fins, avec intercalations franchement calcaires, entre les bancs de conglomérats.

Le cycle commence généralement par des grès quartzo-feldspathiques fins lie-de-vin à ripple-marks, reposant sur une dalle érodée (hard ground ?) d'arkose grossière truffée de galets granitiques. On passe ensuite à des calcaires gréseux et des calcschistes gréseux, avec récurrence locale du faciès lie-de-vin, puis à des pélites gréseuses ferrugineuses à ciment calcaire. L'ensemble (50 m de puissance au total) est couronné par un nouveau banc conglomératique.

Conclusions.

1) L'attribution aux séries intermédiaires des diverses formations étudiées précédemment nous paraît justifiée par les considérations suivantes.

Ces séries sont manifestement postérieures au Pharusien sur lequel elles reposent en discordance. Leurs relations avec les grès tassiliens ne peuvent être établies sur la feuille de Silet. Mais les différences fondamentales de faciès (notamment l'absence presque complète des galets de quartz dans les conglomérats), l'existence d'un léger métamorphisme et surtout d'une phase tectonique propre (séries nettement plissées alors que les vestiges de tassilis, dans la région étudiée se montrent tout au plus basculés et gauchis),

constituent des arguments de poids en faveur d'un âge anté-tassilien.

Sur la feuille Ti-n-Rerhoh, où Cl. Reboul, M. Bouvet, J.-P. Caye et B. de Vitry [1959] ont découvert un lambeau à faciès typiquement « nigritien » recouvert en discordance par les grès du tassili, cette présomption devient certitude.

Il faut toutefois souligner le caractère hypothétique de toute tentative de parallélisme précis, même entre affleurements rapprochés.

2) Nous n'avons aucune idée de l'extension initiale du ou des bassins de sédimentation. Les limites actuelles correspondent à des failles ou à des fronts d'érosion.

3) L'étude morphoscopique et morphométrique des sédiments détritiques sera poursuivie ultérieurement.

Il semble que l'on ait affaire à des formations tantôt continentales, tantôt marines (Bourzekkal), suivant les points. De toutes manières, on songe volontiers, pour les horizons sédimentaires, à des dépôts détritiques marginaux d'aires à relief marqué. Les rejeux successifs des grandes failles précambriennes pourraient avoir contribué, dans une large mesure, à la localisation des bassins de sédimentation et au rajeunissement des reliefs pourvoyeurs de matériaux détritiques.

4) Dans la région étudiée, les séries intermédiaires sont rigoureusement exemptes de toute trace de granitisation.

5) Le degré de métamorphisme des séries intermédiaires d'origine volcanique ou sédimentaire paraît toujours extrêmement faible, sinon nul.

L'examen des lames minces n'a jamais révélé la présence de biotite néogène. On note seulement une faible tendance à la recristallisation

chez certains grains de quartz clastiques ou dans quelques plages du ciment calcaire et des néogénèses abondantes, mais toujours microscopiques, de séricite, chlorite et épidote. La texture et la structure sont, à de très rares exceptions près (Bourzekkal), celles d'une roche sédimentaire banale (absence de foliation cristallophyllienne, même dans les horizons pélitiques). Peut-on parler dans ce cas de métamorphisme ?

Le domaine situé à la limite diagenèse-métamorphisme ne peut être abordé qu'avec circonspection. Les critères paraissent varier suivant les auteurs. Ainsi, pour les géologues russes [Kossovskaja et Shutov, 1958] qui préconisent l'emploi, non seulement des minéraux néogènes indicateurs, mais aussi des paramètres physiques et mécaniques, nos séries intermédiaires seraient sans doute seulement justiciables de la zone métagenétique (stade profond de la diagenèse).

En cette matière, il paraît donc préférable de substituer aux conclusions trop elliptiques et souvent arbitraires, une description objective des caractéristiques de la roche.

Bibliographie.

- BLAISE J. (1956). — Sur la présence d'une série de type « nigrilien » dans l'Antécambrien de l'Ahaggar oriental (Sahara central), la série de Tiririne. *C. R. Ac. Sc.*, t. 243, p. 1225-1227.
- (1957). — Une « série intermédiaire » au Sahara central : la série de Tiririne (Ahaggar oriental). In *Les relations entre Précambrien et Cambrien. Problèmes des séries intermédiaires. Coll. intern. C. N. R. S.*, n° LXXXVI, p. 217-220.
- BOROCO J. et NYSSSEN R. (1959). — Nouvelles observations sur les « grès inférieurs » cambro-ordoviciens du Tassili interne (Nord Hoggar). *B. S. G. F.*, (7), 1, p. 197-206.
- CHUBERT G. (1957). — L'Adoudounien et le Précambrien III dans l'Anti-Atlas. *Coll. intern. C. N. R. S.*, n° LXXXVI, p. 143-162.
- FOLLOT J. (1948). — La série pourprée de l'Ahnnet (Sahara central). *C. R. Ac. Sc.*, t. 226, p. 1996-1997.
- (1952). — Ahnnet et Mouydir. *19^e Congr. géol. intern. Alger, Monogr. région.*, 1^{re} sér., Algérie, n° 1.
- GUÉRANGÉ B. et VIALON P. (1960). — Le Pharusien du bassin de Djanet dans la région du Tafassasset moyen (Ahaggar oriental-Sahara central). *C. R. somm. S. G. F.*, p. 57-59.
- GRAVELLE M. (1959). — Études géologiques sur le territoire de la feuille au 200 000^e de Silet. Rapports internes B. R. G. M., Alger (inédit).
- HUPÉ P. (1952). — Contribution à l'étude du Cambrien inférieur et du Précambrien III de l'Anti-Atlas marocain. *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*, n° 103, 402 p., 99 fig., 24 pl.
- (1957). — Essai de corrélation de quelques formations cambriennes et infracambriennes. *Coll. intern. C. N. R. S.*, n° LXXXVI, p. 163-168.
- KARPOFF R. (1946). — Stratigraphie de l'Antécambrien au Sahara. Le Nigrilien. *C. R. Ac. Sc.*, t. 223, p. 428-429.
- (1957). — Deux séries du Précambrien supérieur au Sahara central et en Arabie : le Nigrilien et la série du Wadi Fatima. *Coll. intern. C. N. R. S.*, n° LXXXVI, p. 199-206.
- (1960). — La géologie de l'Adrar des Iforas (Sahara central). Thèse 1958. *Publ. Serv. géol. et Prosp. min. A. O. F.*, Bull. 30. 1 vol. in 4°, 273 p.
- KILIAN C. (1922). — Aperçu général de la structure des Tassilis des Ajjer. *C. R. Ac. Sc.*, t. 175, p. 825-827.
- (1932). — Sur des conglomérats précambriens du Sahara central : le Pharusien et le Suggarien. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 87.
- KOSSOVSKAIA A. G. et SHUTOV V. D. (1958). — Zonality in the structure of terrigenous deposits in platform and geosynclinal regions. (V^e Congr. intern. Sédimentologie, Lausanne). *Ecl. géol. Helv.*, vol. 51, n° 3, p. 656-666.
- LEGOUX P. (1939). — La « Vieille Plateforme » ouest-africaine, coupures de la série de base. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 59-61.
- LELUBRE M. (1952). — Recherches sur la géologie de l'Ahaggar central et occidental (Sahara central). *Bull. Serv. Carte géol. Algérie*. 2^e sér., n° 22, 2 vol.
- (1953). — Stratigraphie de l'Antécambrien au Sahara. *B. S. G. F.*, (6), III, p. 547-577.
- (1957). — La « série pourprée de l'Ahnnet » et le problème des séries intermédiaires au Sahara

- central. *Coll. intern. C. N. R. S.*, n° LXXVI, p. 173-190.
- MENCHIKOFF N. (1957). — De l'Infracambrien au Sahara. *Ibid.*, p. 169-172.
- MONOD Th. et BOURCART J. (1931-1932). — L'Adrar Ahnet. Contribution à l'étude physique d'un district saharien. *Rev. Géogr. phys. et Géol. dynam.*, t. IV (1931), p. 107-150 et 223-262 ; t. V (1932), p. 245-297.
- PRUVOST P. (1951). — L'Infracambrien. *Bull. Soc. belge Géol., Pal., Hydrol.*, t. 40, fasc. 1, p. 43-65, 4 fig.
- (1957). — Allocution préliminaire. *Coll. intern. C. N. R. S.*, n° LXXVI, p. 11-13.
- RANOUX J. (1959). — Les recherches géologiques récentes au Hoggar. *Bull. scient. écon. B. R. M. A.*, n° 6, p. 83-88, Alger.
- REBOUL Cl. et BOUVET M. (1959). — Étude géologique de la feuille au 200 000^e Timg'Aouine. *Ibid.*, n° 7, 65 p., fig., 1 carte géol. coul.
- REBOUL Cl., BOUVET M., CAYE J. P. et VITRY B. DE (1959). — Mission de Prospection générale. Feuille au 200 000^e Ti-n-Rerhoh. Rapports internes B. R. G. M., Alger (inédit).
- THÉBAULT J.-Y. et ROYER Cl. (1955). — Rapport de fin de mission au Hoggar. Campagne 1954-1955 (feuilles Arak, Amguid, Asseksem, Garet el Djennoun, Khranguet el Hadid, Tan Mellet). *Ibid.*
- THÉBAULT J.-Y. (1959). — Problème de la recherche du diamant en pays saharien et plus précisément au Hoggar. *Bull. scient., écon. B. R. M. A.*, n° 6, p. 65-81.
-

Un massif granitique de l'Ahaggar à mode de gisement hybride : le Tihoiarène

par Jean BOISSONNAS et Michel GRAVELLE *.

Sommaire. — Le granite de Tihoiarène dessine, en plan, un croissant qui vient coiffer la bordure nord-est d'un massif de granite porphyroïde dit « syntectonique », d'extension régionale et à limites souvent diffuses.

Le contact externe du croissant, avec les terrains précambriens épimétamorphiques, revêt une allure typiquement intrusive. Le contact interne, avec le granite porphyroïde, tantôt flou, tantôt net, ne livre aucun argument qui permette d'esquisser une chronologie. L'examen de ce contact interne, entre autres considérations, suggère que la genèse du granite intrusif est liée à l'évolution du massif de granite porphyroïde à cachet migmatitique. Comparaisons avec d'autres massifs granitiques du Hoggar.

Le Tihoiarène appartient à une catégorie de massifs granitiques encore peu connue au Hoggar. Sur l'une de ses marges, il présente un mode de gisement typiquement intrusif; sur l'autre, il apparaît lié à l'évolution d'une aire de granitisation beaucoup plus diffuse et d'extension considérable. La description qui suit fait appel aux seules observations de terrain.

1. GÉNÉRALITÉS. — Le massif de Tihoiarène, situé à 150 km à l'WSW de Tamanrasset (feuille au 200 000^e : Silet; coordonnées géographiques : $x = 4^{\circ} 10'$, $y = 22^{\circ} 22'$), se greffe curieusement sur la bordure nord-orientale d'un immense domaine granitisé qui se développe sur plusieurs milliers de kilomètres carrés vers l'Ouest-Sud-Ouest, en direction de Ti-m-Misaou. Ce domaine est celui du granite de l'Imezzarène [Lelubre, 1952, t. II, p. 45 et 69]; le faciès le plus courant y est représenté par un granite calco-alcalin à biotite (et parfois amphibole), généralement porphyroïde, avec texture orientée et grain grossier. Le passage de ce granite aux séries pharusiennes encaissantes s'effectue progressivement, en quelques dizaines de mètres, par l'intermédiaire d'une zone lardée de filons d'aplogmatites.

Au Hoggar, de tels granites, en première approximation concordants avec les structures de l'encaissant, sont considérés comme « syntectoniques récents » (granites de type Ti-n-Zaouaï [Lelubre, 1952, t. II, p. 155]).

Vers le Nord-Est et en direction du Tihoiarène,

l'aire granitique de l'Imezzarène s'orne d'une apophyse dans laquelle la roche porphyroïde devient un peu moins grossière et nettement moins orientée. Le granite de Tihoiarène coiffe l'extrémité septentrionale de cette apophyse (fig. 1). Il dessine un croissant ventru, à convexité tournée vers le Nord-Est, épais de 2 400 m en son centre et dont l'arc interne mesure 9 km environ.

La partie externe de ce croissant forme les reliefs sombres aux dalles lisses qui émergent brusquement des blanches plaines du Sud-Ouest, où règne surtout le granite porphyroïde. Le contraste n'est pas moins brutal avec la grisaille des séries pharusiennes aux paysages sans vigueur qui, vers le Nord et le Nord-Est, encadrent le granite.

2. FACIÈS. — C'est un granite calco-alcalin à grain moyen (3-4 mm), non porphyroïde, de teinte générale rose ambré et dont la cassure offre souvent un éclat huileux. La roche montre un fond quartzo-feldspathique homogène et équi-granulaire taché par de petits amas de biotite; ces amas peuvent atteindre 0,5 à 1 cm de diamètre et leur espacement, fort irrégulier, varie de 1 à 5 cm.

3. ÉTUDE DES CONTACTS. — Une différence de style particulièrement flagrante oppose les con-

* Bureau de recherches géologiques et minières, direction Algérie, O. C. R. S. Nord, Alger. Note présentée à la séance du 24 avril 1961.

tacts externe (avec la série détritique pharusienne) et interne (avec le granite porphyroïde de type Imezzarène) du croissant de granite du Tihoiarène.

a) *Contact externe.* A son voisinage, le granite devient plus fin, plus leucocrate et se charge de

nids pegmatitiques (faciès de bordure). Le contact lui-même est très net ; en plusieurs points on peut constater qu'il s'effectue suivant une surface voisine de la verticale. Il tranche brutalement la série grésopélitique encaissante dont certains termes plus schisteux prennent, par endroits, le faciès tacheté ou noduleux ; l'anda-

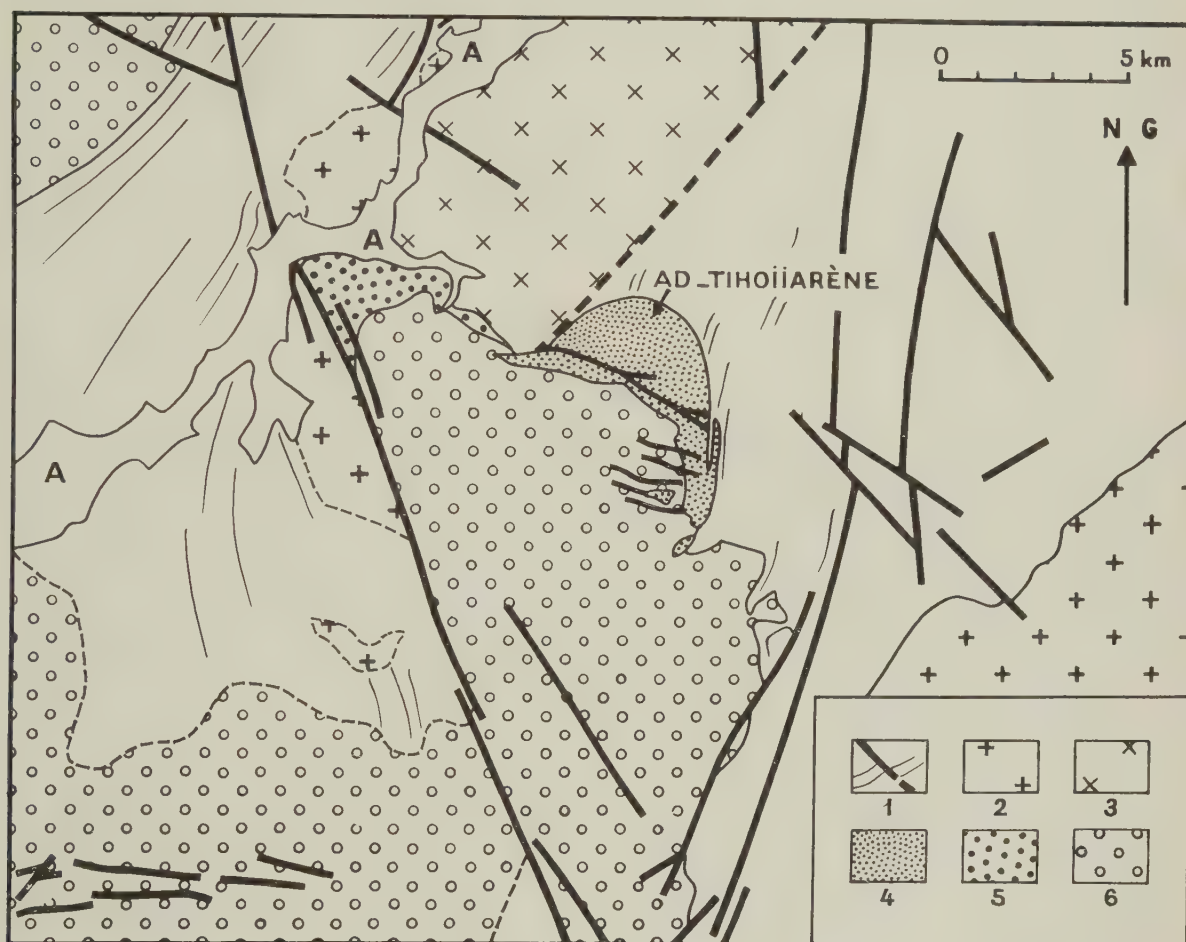


Fig. 1. — Croquis géologique de la région de l'Adrar Tihoiarène.

A : alluvions ; 1 : failles, ou filons (trait fort), et indication de la direction des couches pour la série grésopélitique ; 2 : granodiorite migmatitique ; 3 : gabbro ; 4 : granite du Tihoiarène, croissant principal ; 5 : granite du croissant ouest ; 6 : granite porphyroïde orienté de type Imezzarène.

lousite apparaît même localement, sous forme de prismes ténus très friables.

De nombreux filons entrecroisés de granite fin et leucocrate hachent cette auréole de métamorphisme, d'ailleurs peu puissante (moins de 10 m).

Dans la partie médiane externe de la moitié nord du croissant, la ligne de contact tranche nettement les structures de la série grésopéli-

tique. Le long de la branche sud, elle les suit. Le granite est alors annoncé par l'intercalation dans l'encaissant et sur quelques dizaines de mètres, d'un ou deux feuillets concordants à faciès plus fin, dont la puissance n'excède pas 5 à 10 m.

Notons enfin l'abondance des enclaves énallogènes de dimension décamétrique, blocs anguleux

ou lanières tailladées, éparpillées à l'intérieur du croissant.

b) *Contact interne.* Les rapports du granite de Tihoiarène et du granite porphyroïde des plaines du Sud-Ouest s'observent aisément dans la zone médiane de la concavité du croissant.

Des lisérés de biotite, épais de 2 à 5 cm, ondulents dans le granite porphyroïde et courent parallèlement au contact, dessinant une frange à texture rubanée de 50 cm de largeur environ. Entre ces lisérés, le granite prend un faciès hétérogranulaire avec porphyroblastes plus rares que dans le granite porphyroïde courant. Au-delà d'un dernier ruban de biotite, c'est le granite du croissant qui apparaît, mais pas encore avec son faciès le plus caractéristique, puisque quelques feldspaths porphyroblastiques mal formés y bourgeonnent. On passe en quelques mètres au granite du croissant exempt de tout porphyroblaste.

Vers le Sud, le caractère diffus du contact s'affirme. Le croissant se rétrécit progressivement et paraît se fondre, vers l'intérieur, dans le granite porphyroïde. Dans sa partie externe, son faciès conserve ses caractères fondamentaux, mais, au voisinage du contact interne, on voit apparaître des bandes récurrentes de granite porphyroïde. Sur une zone de 50 à 100 m, on observe ainsi, en alternance, des bandes diffuses où les faciès, mal définis, semblent vouloir incliner, tantôt vers le granite porphyroïde, tantôt vers le granite du croissant, sans jamais s'identifier à l'un ou à l'autre de ces deux termes caractéristiques.

En résumé, la limite interne du croissant est nette dans la partie médiane de l'arc ; elle s'estompe vers le Sud. Son examen ne fournit en aucun endroit d'argument décisif propre à fixer l'ordre chronologique des deux faciès en contact.

4. LE CROISSANT ANNEXE SITUÉ À L'OUEST DU TIHOIARÈNE. — Un peu à l'Ouest, sur un feston annexe de l'apophyse de granite porphyroïde qui porte le Tihoiarène, on retrouve un schéma de type analogue, mais beaucoup moins élaboré (fig. 1).

Au niveau du confluent des Oueds Tamtoq et Ag'elmam, en effet, une nouvelle bande granitique arquée, longue de 4 km, souligne et suit le contour du granite porphyroïde et se présente comme une variation de bordure de ce dernier.

Ce « croissant » occidental ne se traduit dans la morphologie par aucun relief appréciable ; il est arasé au même titre que le granite porphyroïde et que la partie interne du croissant prin-

cipal. Le granite qui le constitue offre des faciès variables. Ceux-ci rappellent néanmoins souvent la roche du Tihoiarène (croissant principal) par le grain moyen, l'aspect leucocrate et la tendance au regroupement manifestée par les biotites ; mais les feldspaths souvent automorphes leur donnent déjà un cachet porphyroïde et la texture fluidale est de règle. Ce dernier caractère fait apparaître une différence fondamentale entre les deux croissants.

Le contact entre le granite porphyroïde et le granite de ce croissant ouest est parfois diffus, parfois très franc. Dans tous les cas, les deux faciès juxtaposés recèlent des enclaves de même nature et montrant la même fluidalité ; celle-ci reflète d'ailleurs fidèlement la schistosité des séries encaissantes.

5. RÉSUMÉ GÉNÉRAL. — Le granite de Tihoiarène se plaque sur une apophyse d'un massif de granite porphyroïde à bords diffus, d'extension régionale, et son contact externe avec les terrains pharusiens revêt une allure typiquement intrusive. Par ses dimensions d'échelle kilométrique, par l'homogénéité de son faciès, il peut prétendre au rang de massif individualisé. Cependant son contact interne (vers le Sud et le Sud-Ouest) est tantôt flou, tantôt net, et dans ce dernier cas ne livre aucun argument qui permette d'esquisser une chronologie. *L'examen de ce contact suggère que la naissance du granite de Tihoiarène est liée à l'évolution du massif de granite porphyroïde de type Imezzarène.*

À l'appui de cette présomption on peut invoquer en outre :

1) L'allure en plan et la localisation du granite de Tihoiarène. Son affleurement en croissant se présente comme un liséré d'épaisseur variable plaqué sur la bordure du granite porphyroïde. Cette disposition curieuse s'explique aisément dans le cadre de notre hypothèse ; elle surprend au contraire si le granite du croissant représente une intrusion totalement autonome.

2) La légitimité des comparaisons avec le croissant occidental, moins homogène et moins individualisé, qui paraît correspondre à une simple zone de bordure du granite porphyroïde.

6. COMPARAISONS ET CONCLUSIONS. — Le cas du Tihoiarène ne semble pas isolé. Par exemple, le Tin-Erit, situé à 80 km plus au Nord, le rappelle de plus d'une façon.

Le granite porphyroïde, ici, loin de s'étendre sur plusieurs milliers de kilomètres carrés, est assez étroitement localisé, puisque son affleurement mesure 20 × 10 km. Par son aspect, il se

présente comme un intermédiaire entre le granite porphyroïde de l'Imezzarène et les « granites jeunes » (granites des Taourirts), porphyroïdes grossiers sans orientation. Des faciès rappelant le Tihoiarène l'entourent de presque tous les côtés. Ils sont nettement « intrusifs » à l'extérieur, beaucoup plus difficile à délimiter vers l'intérieur. Là où leur continuité est interrompue, ils sont remplacés par des lacis filoniens qui hachent la zone de passage du granite porphyroïde aux séries encaissantes.

Ainsi donc, dans le Hoggar, l'allure intrusive des contacts ne s'observe pas uniquement à la périphérie de nombreux ¹ « granites jeunes » [Boissonnas, 1960]. On la rencontre également sur la marge externe de corps granitiques d'extension réduite, adossés à de grands affleurements

de granite porphyroïde moins nettement circonscrits dont ils paraissent dépendre (Tihoiarène, Tin-Erit).

Des observations de ce genre suggèrent la possibilité d'une filiation directe entre granites encore migmatitiques (ou granites d'anatexie) et granites intrusifs (ou circonscrits); ces derniers pouvant passer aux plutons subvolcaniques ². Ces problèmes seront discutés dans d'autres publications.

1. Ces granites post-tectoniques se présentent comme des unités circulaires ou elliptiques qui recoupent les terrains encaissants à l'emporte-pièce. Ils ne laissent pas, en général, apparaître d'éventuelles liaisons à des domaines de granitisation plus étendue et plus précoce.

2. Pour les granites subvolcaniques de la région de Silet, voir les publications récentes de J. Boissonnas [1959, 1960] sur l'Ad. Tiouciine et de M. Gravelle [1960] sur l'Ad. Iskel.

Bibliographie.

- BOISSONNAS J. (1959). — Observations sur le granite du Tiouciine (Hoggar occidental). *Publ. Serv. Carte géol. Algérie*, nouv. sér., *Bull.* n° 25. Travaux Collab. 1958, p. 11-18, 2 fig.
- (1957-1960). — Rapports de fin de mission sur les granites. Alger, Bureau de recherches géologiques et minières (B. R. G. M.) (inédits).
- (1960). — Sur les structures concentriques des granites jeunes traversant le Pharusien du Hoggar (Sahara central). *C. R. Ac. Sc.*, t. 250, p. 4016-4017.
- GRAVELLE M. (1959). — Études géologiques sur le terri-

- toire de la feuille au 200 000^e de Silet. Alger, Rapports internes du B. R. G. M. (inédits).
- (1960). — Exemples de relations entre granites et roches volcaniques ou hypovolcaniques acides dans le Précambrien de la région de Silet (Sahara central). *Rev. Géogr. phys. et Géol. dyn.*, 2^e sér., vol. III, fasc. 2, p. 87-93.
- LELUBRE M. (1952). — Recherches sur la géologie de l'Ahaggar central et occidental (Sahara central). *Bull. Serv. Carte géol. Algérie*, 2^e sér., n° 22, 2 vol.

Le horst suggarien de Timg'aouine

par Michel BOUVET et Claude REBOUL*.

Sommaire. — Une grande ligne directrice de la structure du Hoggar est constituée par l'accident de $4^{\circ} 50'$ qui sépare Suggarien à l'Est et Pharusien à l'Ouest. Un horst orienté NNE-SSW, mesurant 120 km sur environ 15 km, a été mis en évidence à l'Ouest de ce grand accident.

Aux fractures qui limitent ce horst sont liées de très importantes venues de laves.

Par ailleurs, la présence de cette unité suggarienne a joué un grand rôle dans la structure du bassin pharusien environnant.

Dans ses remarquables travaux sur la géologie de l'Ahaggar, M. Lelubre avait montré une alternance de môles suggariens et de bassins pharusiens.

Le horst suggarien de Timg'aouine se situe dans la partie sud du bassin pharusien de l'Ahaggar occidental, fossé dont la limite orientale est le grand accident régional orienté N-S suivant le méridien $4^{\circ} 50'$ de longitude Est. Ce horst, très grossièrement orienté NNE-SSW, se situe entre les parallèles $21^{\circ} 05'$ et $22^{\circ} 06'$ de latitude Nord. Il mesure dans sa plus grande dimension 120 km et a une largeur moyenne de 15 km.

Il est composé en majeure partie de terrains granitiques dans lesquels subsistent des enclaves de terrains métamorphiques.

MISE EN ÉVIDENCE DU HORST.

1) *Au N de l'Oued Tamanrasset*, une coupe W-E montre (fig. 1) :

— granite migmatique rougeâtre sillonné de dykes;
— une formation à allure conglomératique d'une puissance d'environ 20 m, à pendage de 40° vers l'Est; les éléments sont emballés dans un matériel volcanique;

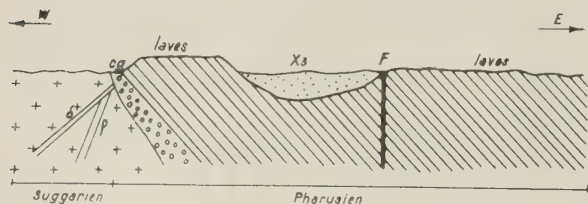


FIG. 1. — Coupe au N de l'Oued Tamanrasset.

X_3 : Précambrien supérieur; cg : conglomérat; p : rhyolites;
d : dolérites.

— de molles collines bleutées formées de roches à allure pélitique qui sont, en fait, des laves et tufs légèrement recristallisés.

Plusieurs arguments prouvent que l'on est en présence de deux séries différentes :

— les nombreux dykes rhyolitiques ou andésitiques s'arrêtent brutalement à la formation conglomératique;

— les terrains métamorphiques qui subsistent au sein du granite sont migmatitiques alors que les laves au contact de ce même granite sont fraîches.

Deux séries d'études microscopiques faites l'une dans le granite à proximité de la formation conglomératique, l'autre dans un galet du conglomérat, se révèlent absolument semblables.

La limite entre le granite et les terrains subséquents est singulière. Ce n'est pas une limite de transgression banale, mais une discordance à la fois dans les sens tectonique et stratigraphique du terme. Les dimensions des éléments emballés dans les laves bleues varient du millimètre cube à plusieurs mètres cubes. On pourrait imaginer le processus suivant de mise en place : le bord du socle suggarien formant falaise avec de nombreux éboulis au pied est recouvert par les nombreuses émissions de laves du début du cycle pharusien; celles-ci viennent s'insinuer entre les éboulis, les cimenter et produisent ainsi une sorte de conglomérat à éléments de granite et ciment volcanique.

2) *Vers le parallèle $21^{\circ} 16'$* une coupe W-E montre (fig. 2) :

— des gneiss à amphibole, assez grossièrement lités, traversés en tous sens de filonnetts granitiques, orientés N 45° E;

* Note présentée à la séance du 24 avril 1961.

— des « brèches » assez singulières à ciment et éléments rhyolitiques. En dehors de leur ciment, elles ne comportent que des galets aplatis allongés suivant une direction N-S. Leur taille varie de 1 à 30 cm.

Ces formations très puissantes ont un pendage de 40° vers l'Est :

— des bancs rhyolitiques et des schistes quartzeux à très faible pendage.

Nous sommes en présence d'une vraie discordance.

Les conglomérats rhyolitiques orientés N-S, pendant à 45° vers l'Est, reposent sur les gneiss à amphibole orientés NE-SW et pendant à 50° vers le Sud-Est.

Les gneiss à amphibole bourrés de petits filonnets granitiques sont caractéristiques des faciès catamétamorphiques que l'on rencontre fréquemment dans le Suggarien. Les conglomérats rhyolitiques sont peu métamorphiques et exempts de toute manifestation granitique.

LIMITES DU HORST. — La limite orientale est très nette. Le bassin pharusien est le plus souvent discordant et transgressif sur le socle suggarien. Les premières assises sont constituées par des conglomérats ou des brèches.

La limite occidentale est généralement faillée ; quelquefois une bande de mylonites souligne cet accident. Ce dernier met en contact :

— à l'Est, un granite rougeâtre migmatitique, le plus souvent orienté, tendant quelquefois vers la granodiorite (surtout au Nord) ;

— à l'Ouest, des laves plus acides vers le Nord que vers le centre, orientées NNE parallèlement à la faille, verticales sans trace apparente de développement de feldspaths.

Cet accident est jalonné de quartz vers le Sud. Une intrusion de laves noires (andésites) s'est mise en place de part et d'autre de la faille et est décalée par le rejeu de celle-ci.

Dans l'extrême Sud, les limites sont très floues et indécises par suite de l'apparition de granites et de migmatites pharusiens qui reprennent l'ensemble.

Vers le Nord, et en particulier dans la région de Silet, les limites est et ouest sont faillées ; la limite nord est oblitérée par un granite pharusien rose leucocrate qui reprend la granodiorite migmatique suggarienne.

LES FACIÈS. — Quelques lambeaux de terrains particulièrement résistants, amphibolites et cipolins, subsistent au sein des granites.

Les amphibolites sont très feldspathiques, grenues, d'allure presque dioritique.

Les cipolins s'étalent assez largement en flaques. Ils sont cristallisés grossièrement et comportent de nombreux silicates.

Signalons, dans le SE du horst, un assez vaste synclinal de gneiss à amphibole, d'axe NE-SW, dont le bord ouest est faillé.

Quelques rares pyroxénites accompagnent les cipolins.

LES GRANITES. — Ce sont des granites migmatitiques très variables. Vers le Nord, granodiorites et monzonites dominent, alors que vers le Sud, ce sont surtout des granites à muscovite souvent cataclasés.

Ces granites sont toujours très orientés.

Leurs contacts sont très flous et ils sont souvent sillonnés de filonnets d'aprites, de microgranites et de rhyolites.

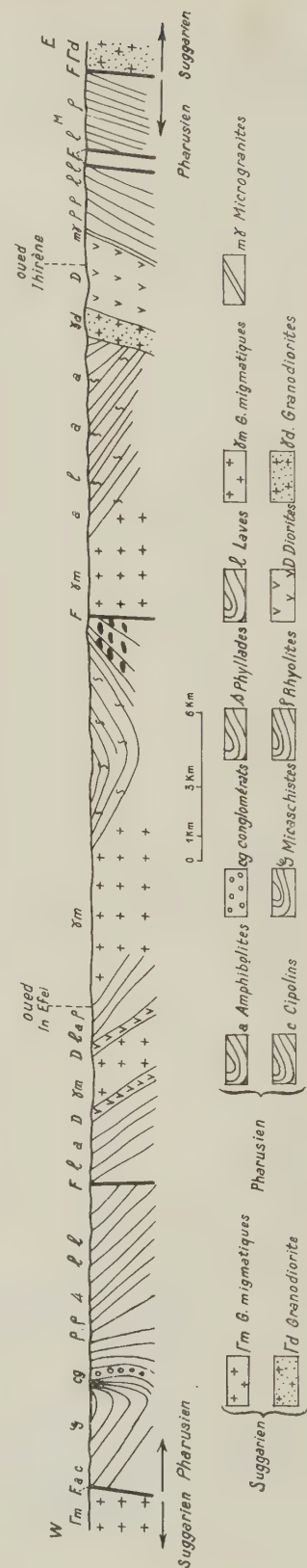


FIG. 2. --- Coupe par $21^{\circ}16'$.

CONCLUSION. — En dehors de son intérêt stratigraphique la présence de ce horst comporte aussi des conséquences structurales.

Le bassin pharusien de l'Ahaggar occidental n'est pas simplement un synclinal dont la structure a été déterminée par l'action des môles suggariens de l'Ahaggar central et d'In Hihaou. Différents petits horsts dont celui de Timg'aouine ont également conditionné la structure et la nature des faciès de cette unité.

Les failles bordières de ce horst jouant à plusieurs époques ont déterminé des petites unités anticlinales et synclinales compliquant ainsi la structure initiale.

L'individualisation du horst de Timg'aouine a permis en outre la mise en place de plusieurs milliers de mètres de roches volcaniques : laves acides à l'Est, basiques à l'Ouest.

Évolutions parallèles de séries de rhyolite et d'arkose soumises à l'action d'un métamorphisme topochimique

par Michel BOUVET et Claude REBOUL*.

Sommaire. — De puissantes séries rhyolitiques et arkosiques affleurent dans le bassin pharusien situé à l'E de l'Adrar Timg'auine (Hoggar central).

Les rhyolites sont toujours atteintes par une importante recristallisation. Celle-ci localement augmente d'intensité, et l'on passe ainsi en continuité à des faciès presque granitiques.

Dans le même bassin pharusien existent de petites lames de granites, grossièrement syntectoniques. Ces roches présentent à l'étude microscopique et à l'analyse chimique des caractères tout à fait analogues à ceux des rhyolites recristallisées.

Les arkoses ont elles aussi subi une importante recristallisation. Dans les cœurs anticlinaux, les roches les plus transformées ressemblent à des granites.

Les termes ultimes de l'évolution de ces rhyolites et de ces arkoses ne se distinguent guère à l'œil, et difficilement au microscope. Dans cette région, l'analyse chimique permet de lever le doute quant à l'origine de ces roches.

LES RHYOLITES. — A l'E du horst suggarien de Timg'auine¹, le Pharusien débute par de puissantes séries de rhyolite, souvent laminées, parfois accompagnées de brèches et de tufs. Au N du massif de Timg'auine, ces rhyolites sont peu transformées, alors qu'au Sud elles sont toujours recristallisées.

Le stade de recristallisation varie le long des bancs, mais aussi transversalement au sein de la série : certaines couches conservent l'aspect de laves alors que d'autres sont déjà grenues, presque granitiques, les bancs intermédiaires ayant l'apparence de leptynites. Ces passages sont continus et peuvent avoir lieu sur des distances variant de la centaine de mètres au kilomètre.

Notons qu'une cataclase parfois intense rend plus difficile l'observation. Au microscope les roches ont une structure hétéroblastique avec souvent des résidus visibles. Un fond cristalloblastique existe généralement ; c'est seulement dans les éléments les plus évolués qu'il est remplacé par des plages résiduelles. Le quartz est amiboïde et forme souvent de petits lits bien engrenés. Les feldspaths potassiques très abondants sont parfois quadrillés, souvent perthitiques. Il s'agit d'une perthite d'exsudation fusiforme. Son plagioclase est très frais et a un contour fort net. Notons l'absence de myrmékite. Les ferromagnésiens (biotite, hornblende) sont

très rares, quelques minerais sont en revanche présents.

Les analyses chimiques de ces roches donnent des résultats très comparables (tabl. 1) et indiquent une aplité hyperalcaline à alcaline. En allant des échantillons les plus « rhyolitiques » vers les plus « granitiques », quelques variations apparaissent cependant :

— une très légère diminution de la silice (de 76 % à 74,8 %) ;

— une légère augmentation de l'alumine (de 12 % à 13 %). La chaux est constante, les autres éléments varient peu.

LES GRANITES EN LAMES. — Dans ce même bassin pharusien, de petits massifs granitiques apparaissent en forme de lames — concordantes dans l'ensemble — au sein de la série. Dans le détail, ces lames recoupent parfois l'encaissant. Celui-ci est constitué de rhyolites, tufs rhyolitiques, schistes ou amphibolites, ces dernières mélangées à du granite migmatitique. Ces « granites en lames » n'ont aucune action sur l'encais-

* Note présentée à la séance du 24 avril 1961.

1. BOUVET M., CAYE J.-P. et REBOUL C. : Rapports inédits, Alger, B. R. M. A. — BOUVET M. et REBOUL C. (1959) : Étude géologique de la feuille au 200 000^e Timg'auine. *Bull. scient. écon. B. R. M. A.*, n° 7. — (1961) : Le horst suggarien de Timg'auine. *B. S. G. F.*, (7), III, p. 156.

sant. Parfois des septa de schiste ou d'amphibolite intacts subsistent au sein de ces granites. Ceux-ci sont rouges, très orientés, visiblement pauvres en ferromagnésiens. L'important relief de l'Adrar Tim'gaouine, affleurant sur près de 20 km dans le sens méridien, appartient à cette famille de granites.

Or, ces « granites en lames » ont des caractères microscopiques tout à fait comparables à ceux des « rhyolites recristallisées » vues plus haut. Un échantillon toutefois, prélevé dans l'Adrar Tim'gaouine, contient un peu de riebekite et de fluorine.

Les analyses chimiques indiquent pour ces

N° TIMG' AOUINE	ORTHOLEPTYNITES				GRANITES EN LAMES			ARKOSES			
	1987	1988	1995	1996	1610	1613	1569	1799	1796	1795	1794
SiO ₂	76,00	76,20	75,20	74,80	75,00	78,40	73,00	71,60	71,20	71,00	70,10
Al ₂ O ₃	12,00	12,30	12,90	13,00	12,00	11,00	14,60	16,00	15,60	15,60	16,00
Fe ₂ O ₃	1,15	0,75	1,15	1,30	0,85	0,90	1,10	1,30	0,70	0,65	0,55
FeO	1,25	1,10	1,55	1,45	1,55	0,35	0,60	1,10	1,35	1,55	1,65
TiO ₂	0,10	0,10	0,16	0,18	0,10	0,10	0,10	0,15	0,15	0,15	0,15
P ₂ O ₅	0,08	0,07	0,09	0,06	0,30	0,07	0,30	0,08	0,06	0,12	0,06
CaO	0,70	0,50	0,70	0,70	0,50	0,70	0,80	0,40	1,60	1,35	1,60
MgO	0,15	0,50	0,25	0,30	0,40	0,40	0,70	1,40	0,55	0,55	0,50
Na ₂ O	4,00	4,00	3,65	3,80	4,80	3,10	4,20	0,30	5,60	5,85	5,65
K ₂ O	4,90	4,70	4,40	4,50	4,30	4,70	4,20	5,80	2,75	2,90	3,05
H ₂ O combinée	0,20	0,20	0,30	0,30	0,50	0,80	0,70	2,30	0,75	0,75	1,05
	100,53	100,42	100,35	100,39	100,30	100,52	100,30	100,43	100,31	100,47	100,36
	I-4-I-3	I-4-I-3	I-(3) 4- I-(2) 3	I-(3) 4- I-2- (3)	I-4- I-3 (4)	I-3'-I-3	I-4- I-3 (4)	II-3-1(2)-1'	I-4-2-4	I-4-2-4	I-4-2-4

TABLEAU 1. — Analyses chimiques.

granites des chiffres un peu plus dispersés que pour les rhyolites. Toutefois ces valeurs oscillent autour de celles des rhyolites.

Une hypothèse semble alors pouvoir être avancée : les « granites en lames », si voisins des roches de la série « rhyolitique », auraient une origine commune. Ils dériveraient de rhyolites par un métamorphisme topochimique.

LES ARKOSES. — Dans le même bassin, des roches détritiques affleurent et constituent de petits synclinaux et anticlinaux très plats. Dans les synclinaux, les roches sont grossières, très orientées, riches en belles amandes de quartz. Elles renferment également des feldspaths cassés ou tordus, entourés de lits de chlorite ou de séricite. Localement cette arkose, grossière et déjà fortement recristallisée, passe latéralement à un conglomérat. Quelques petits bancs de séricito-schiste sont interstratifiés dans cette série. En allant vers les zones anticlinales l'aspect des roches change : le quartz n'est plus en amandes nettes mais plutôt en filonnets alignés. Les feldspaths sont rouges et tout à fait xénomorphes, les ferromagnésiens très rares. La roche a, au

cœur des anticlinaux, l'aspect d'un granite orienté rougeâtre.

Or cette dernière roche ressemble beaucoup au terme ultime de l'évolution des « rhyolites » vues précédemment. Macroscopiquement ces deux roches ne sont pas toujours discernables, et d'autant plus difficilement que dans ce bassin de sédimentation essentiellement détritique des bancs de rhyolites alternent parfois avec des arkoses. De plus, ces roches d'origine différente ont été soumises aux mêmes conditions de métamorphisme.

Microscopiquement les termes évolués des deux séries ont de nombreux points communs : mosaïque quartzofeldspathique de recristallisation ; quand celle-ci est suffisamment avancée les quartz sont amiboïdes. Les grands feldspaths sont à l'état de résidus envahis par la mésostase.

Quelques différences apparaissent cependant : les quartz sont lobés dans la série « rhyolitique », plutôt ronds et rassemblés dans la série « arkosique » mais ce n'est pas toujours net.

Dans les roches « rhyolitiques », les plagioclases sont rares, les microclines souvent perthitiques dominant. Dans les roches « arkosiques »

les plagioclases sont abondants, les perthites rares.

Chimiquement (tabl. 1), des différences apparaissent nettement : la silice est plus abondante dans la séquence rhyolitique (76 % contre 71 %) (les arkoses proviennent de la destruction de granites calcoalcalins et de granodiorites). L'alumine, la chaux et la soude sont plus abondantes dans la séquence détritique alors que la potasse

l'est nettement plus dans la série rhyolitique.

Aussi l'évolution parallèle dans une même zone de métamorphisme de deux séquences d'origine bien distincte conduit à des roches souvent non différenciables sur le terrain, difficilement au microscope ; mais dans ce cas particulier, l'analyse chimique permet de lever le doute quant à l'origine de ces roches.

Sur deux petits massifs suggariens présentant certains caractères du faciès In Ouzzal

par Claude REBOUL*.

Sommaire. — L'étude de deux petits massifs suggariens situés l'un dans le Nord du Hoggar (SW de l'Erg Tihodaine), l'autre dans l'extrême Sud (E de Tin Zaouatène) présente un triple intérêt. Elle montre : l'existence de petits massifs suggariens au sein des bassins pharusiens ; l'apparition du faciès In Ouzzal loin du môle d'In Ouzzal ; la possibilité de l'existence de roches présentant un faciès In Ouzzal inachevé. Celles-ci pourraient être utiles à la compréhension du mécanisme ayant conduit à l'acquisition de ce faciès.

Deux petits massifs suggariens situés l'un au Nord de la boutonnière précambrienne du Hoggar, l'autre à son extrême Sud, présentent des caractères voisins. Du même ordre de grandeur, tous deux sont isolés en milieu pharusien, leurs limites en majeure partie faillées, en font pratiquement des horsts, et surtout certaines de leurs roches présentent le « faciès In Ouzzal »¹ ou tout au moins certains de ses caractères.

1. AU SW DE L'ERG TIHODAÏNE, dans le Nord du Hoggar, un massif suggarien affleure sur plus de 25 km en direction du Sud-Est, jusqu'à l'Adrar Tisselliline. Au contact de ce dernier, la largeur du massif n'est que de 3 km alors qu'elle atteint une dizaine de kilomètres en son milieu.

Des gneiss rubanés à biotite représentent le faciès dominant. Dans le Nord apparaissent des migmatites accompagnées de pegmatites. Mentionnons encore quelques bancs de cipolins à minéraux, d'amphibolites, un massif de gabbro accompagné de serpentinite ainsi qu'un petit massif de roche grenue, situé au centre de l'unité suggarienne ; nous le décrirons en détail.

À l'Ouest, une faille sépare les gneiss suggariens et les schistes pharusiens. Au Sud, le granite intrusif de Tisselliline recoupe les unités suggariennes qui disparaissent vers le Nord, recouvertes par du reg et des dunes. À l'Est, les roches suggariennes et pharusiennes présentent des directions différentes, parfois orthogonales, mais en fait l'interposition constante de quelques mètres de sable ne permet jamais d'observer sur le terrain une véritable discordance. Il arrive que, de part et d'autre de la séparation, les

roches en présence soient toutes deux des cipolins. Mais alors les roches suggariennes sont riches en silicates magnésiens tandis que les pharusiennes ne sont constituées que de calcite et de rares paillettes de graphite.

Dans l'Est central du horst, une petite zone est remarquable : elle est constituée de roches différentes, dont les affleurements dessinent brutalement une demi-circonférence. Le principal relief de cet ensemble, la cote 1427 comporte à sa base le petit massif grenu signalé précédemment. Une coupe NNE-SSW de cette colline montre de la base vers le sommet :

— un affleurement de l'ordre de 1 000 m² d'une roche grenue ayant l'aspect d'un granite mélanocrate. Au microscope le quartz apparaît peu abondant, interstitiel. Plagioclases et feldspaths potassiques sont nombreux, xénomorphes et engrenés. Les ferromagnésiens, peu développés, comprennent des résidus de pyroxène et de la biotite très fraîche.

— une puissante série de gneiss à biotite surmonte l'affleurement précédent. Elle comporte des intercalations de filons-couches de diorite. Sur les gneiss reposent d'importants bancs de cipolins riches en silicates.

L'orientation des gneiss est peu visible en lame mince. Le quartz est abondant, les plagioclases sont engrenés avec le quartz. Le seul ferromagnésien est une biotite très altérée.

* Note présentée à la séance du 25 avril 1961.

1. LELUBRE M. (1949) : Sur l'existence d'une série à hypersthène au Tanezrouft oriental et dans l'Adrar des Iforas. *C. R. Ac. Sc.*, t. 229, p. 443-445. — (1952) : Recherches sur la géologie de l'Ahaggar central et occidental. *Bull. Serv. Carte géol. Algérie*, 2^e sér., n° 22.

La roche grenue et les gneiss présentent un certain nombre de caractères macroscopiques communs : ils sont massifs, leur quartz est bleuté, des flots de pegmatites à quartz amiboïde bleuté les traversent. Ce sont là des caractères du faciès In Ouzzal défini par M. Lelubre¹.

De plus, les gneiss présentent par place un autre caractère « In Ouzzal » lorsque les feldspaths sont jaune cassonade. La roche grenue elle-même est peu homogène.

Une première hypothèse permettrait d'interpréter la présence de ces faciès particuliers de la façon suivante : une transformation comparable à un métamorphisme particulier et comportant une recristallisation aurait donné à la série gneissique banale un « faciès in Ouzzal ». La poursuite de cette transformation aurait provoqué la malgachitisation (apparition des feldspaths jaune cassonade). Une phase encore postérieure — ou l'action sur une roche initialement différente — aurait conduit à la roche grenue (charnockite).

En effet, dans le cadre de cette première hypothèse, la roche grenue pourrait dériver d'une roche originellement différente, plus pauvre en quartz, présentant des pyroxènes, de l'apatite et de structure différente. Certains arguments de terrain et d'observations microscopiques tendraient à le prouver.

Une deuxième hypothèse serait la suivante : l'ensemble de ces roches représenterait un panneau remonté, constitué de roches charnockitiques et rétro-morphosées. Ceci expliquerait la présence à divers niveaux des gneiss de bancs à faciès malgachitiques. Ceux-ci seraient des reliques. Ailleurs une rétro-morphose plus poussée n'aurait laissé subsister que de la biotite.

2. DE PART ET D'AUTRE DU 20^e PARALLÈLE, une petite unité suggarienne affleure entre les bassins pharusiens de l'Immechechrène à l'Est et de l'Akantarar à l'Ouest. Elle s'étend sur une trentaine de kilomètres dans le sens méridien, sur douze transversalement.

Au Sud, elle est recouverte en discordance par le tassili. Vers le Nord, ses terrains sont repris par le vaste massif granitique pharusien d'In Tedeini. Sa limite occidentale est constituée par une importante fracture à grand rayon de courbure à laquelle restent accrochés des lambeaux de tassili. L'ensemble de l'unité suggarienne est basculé vers l'Est. La bordure orientale est en majeure partie masquée par le tassili ; dans le Nord, apparaît une discordance angulaire assez

mâl visible, entre migmatites suggariennes et laves pharusiennes. Les bancs du Suggarien affleurent suivant la direction méridienne alors que ceux du Pharusien conservent la direction d'ensemble 160 gr.

D'Ouest en Est, le Suggarien se compose de trois ensembles séparés par des failles.

— Une coupe dans l'unité occidentale montre

des mylonites,
des quartzites feldspathiques, parfois à muscovite,
des gneiss à biotite, avec lesquels alternent quelques bancs de leptynites,
une bande de granodiorite,
des cipolins,
un important massif de diorite passant vers le Nord à une granodiorite.

— La zone centrale n'affleure pas jusqu'au tassili du Sud.

Elle est limitée par failles à l'Ouest, à l'Est et au Sud. Les terrains qui lui font suite vers le Sud sont des mylonites paraissant dériver d'un granite.

Trois traits communs constituent l'originalité de la zone centrale. Ce sont : l'importance de la cataclase, l'abondance des pegmatites basiques, la couleur généralement sombre des différentes roches.

A l'intérieur de cette zone centrale nous pouvons distinguer d'Ouest en Est :

— une importante bande de roches grises, finement grenue, à quartz bleuté, d'allure quelque peu leptynique,
— une région couverte de pegmatites basiques à grosses amphiboles,
— un petit massif d'une roche grenue dont les cristaux de quartz ont une coloration bleue à noire et ceux de feldspath jaune cassonade. Ainsi, macroscopiquement, cette roche semble présenter les caractères du « faciès In Ouzzal ».

Toutefois l'étude microscopique effectuée par C. Royer ne confirme pas cette impression : il s'agit d'un granite calcosodique cataclaté, l'hypersthène, les trainées limonitiques, les perthites ou antiperthites, les structures amiboïdes sont absentes.

Cette zone centrale est assez singulière. Elle pourrait peut-être correspondre à une zone à « faciès In Ouzzal » inachevé, les caractères « In Ouzzal » devenant plus nets vers l'Est.

— La zone orientale est très réduite et existe seulement au Nord. Elle comporte surtout des migmatites avec quelques bancs de gneiss à amphibole, amphibolites feldspathiques et cipolins.

EN CONCLUSION, il convient de noter trois points.

1) L'existence dans les bassins pharusiens de petites unités suggariennes, ayant presque l'as-

pect de horst ; des mesures d'âge absolu dans ces unités et dans l'encaissant seraient fort intéressantes.

2) L'existence d'un « faciès In Ouzzal » caractéristique dans une région fort éloignée du môle d'In Ouzzal.

3) La possibilité de l'existence de roches présentant un « faciès In Ouzzal » inachevé ; l'étude de tels faciès pourrait alors nous fournir un maillon de la chaîne conduisant à la compréhension du « faciès In Ouzzal » et des faciès charnockitiques en général.

Les charnockites et les roches associées du Suggarien à faciès In Ouzzal (Sahara algérien)

par Pierre GIRAUD*.

Sommaire. — Les formations à faciès In Ouzzal définies par M. Lelubre en 1949 constituent dans l'Ouest du Hoggar un immense coin d'orientation méridienne, long de 400 km, large de 80 km au Nord, de 4 km au Sud.

Il s'agit d'un complexe charnockitique constitué essentiellement de pyroxénites, gneiss, plagioclases, « granites » et « syénites » (lamboanites). Des amas de calcaire cristallin à nodules silicatés, des gneiss à grenat et à graphite et des « leptynites » à quartz bleu sont interstratifiés.

Ces leptynites ne présentent pas le faciès malgachitique. Elles se présentent en loupes, veinules, filons ou bouffées, et donnent des embréchites ou anatexites.

Les formations « In Ouzzal » ont un agencement structural totalement différent de celui du Suggarien banal. Leur limite orientale est constituée par un gigantesque accident, tandis que l'occidentale ne correspond pas à une cassure franche, mais à une simple disharmonie. Au Sud, il semble y avoir passage au Suggarien banal, au Nord l'étude est en cours.

En conclusion, l'auteur donne une hypothèse sur l'histoire géologique de ces séries.

Les formations à faciès In Ouzzal individualisées par M. Lelubre [1949] affleurent à l'Ouest du massif cristallin antécambrien du Hoggar, au Nord de l'Adrar des Iforas, sous forme d'un immense coin, d'orientation subméridienne, de plus de 400 km de longueur. Sa largeur est de 80 km au Nord à hauteur d'In Zize et seulement de 4 km près de la frontière soudanaise où elle se termine. Il s'agit essentiellement, d'une part d'un complexe charnockitique, d'autre part de « leptynites » à quartz bleu. Au sein des formations charnockitiques sont interstratifiés des bancs ou amas de calcaires cristallins à nodules silicatés, des bancs de gneiss et de quartzites à minéraux variés. Signalons pour mémoire de nombreux massifs granitiques et ultrabasiques ainsi que des complexes subvolcaniques recoupant ces divers schistes cristallins. Nous n'en parlerons pas.

Après l'étude qu'en fit M. Lelubre [1949, 1952], divers géologues du B. R. M. A. [Meindre et Byramjee, 1956; Royer, 1958; Ily, 1959] y firent des missions de prospection générale. Pour ma part, j'ai effectué de courtes missions en 1958, 1959 et 1961.

PRINCIPAUX TYPES LITHOLOGIQUES. — Le complexe charnockitique est représenté par tout un ensemble de formations allant des pyroxénites ou pyxoréno-amphibolites jusqu'à des

« granites » ou des syénites » (lamboanites), en passant par des gneiss ou des plagioclases. Ces différents termes, ou bien constituent des bancs bien individualisés, ou bien le plus souvent passent progressivement les uns aux autres. Leur texture est généralement massive. Seuls les gneiss présentent une orientation assez nette de par leurs quartz sombres en petits yeux aplatis. Les structures sont celles de roches métamorphiques : granoblastiques ou porphyroblastiques. Les associations minérales sont variées. Les principales sont : quartz-microcline perthitique-oligoclase-hypersthène-(augite-kaersutite); microcline perthitique-oligoclase-hypersthène; hypersthène-kaersutite-labrador-(augite-diopside).

Les minéraux accessoires les plus fréquents sont : apatite-zircon-magnétite-allanite. La présence de filaments d'hydrate ferrique dans les clivages et cassures est constante (faciès malgachitique d'A. Lacroix [1923]). En certains points ces charnockites montrent des traces de rétro-morphose : à l'affleurement elles paraissent avoir été « étirées », les feldspaths perdent plus ou moins leur coloration jaune cassonade et ac-

* Note présentée à la séance du 24 avril 1961. Je tiens ici à remercier bien vivement MM. G. Matheron et J. Ranoux, directeurs à Alger du Bureau de recherches géologiques et minières (ancien Bureau de recherches minières de l'Algérie, B. R. M. A) de m'avoir permis d'entreprendre cette étude dans des conditions si parfaites.

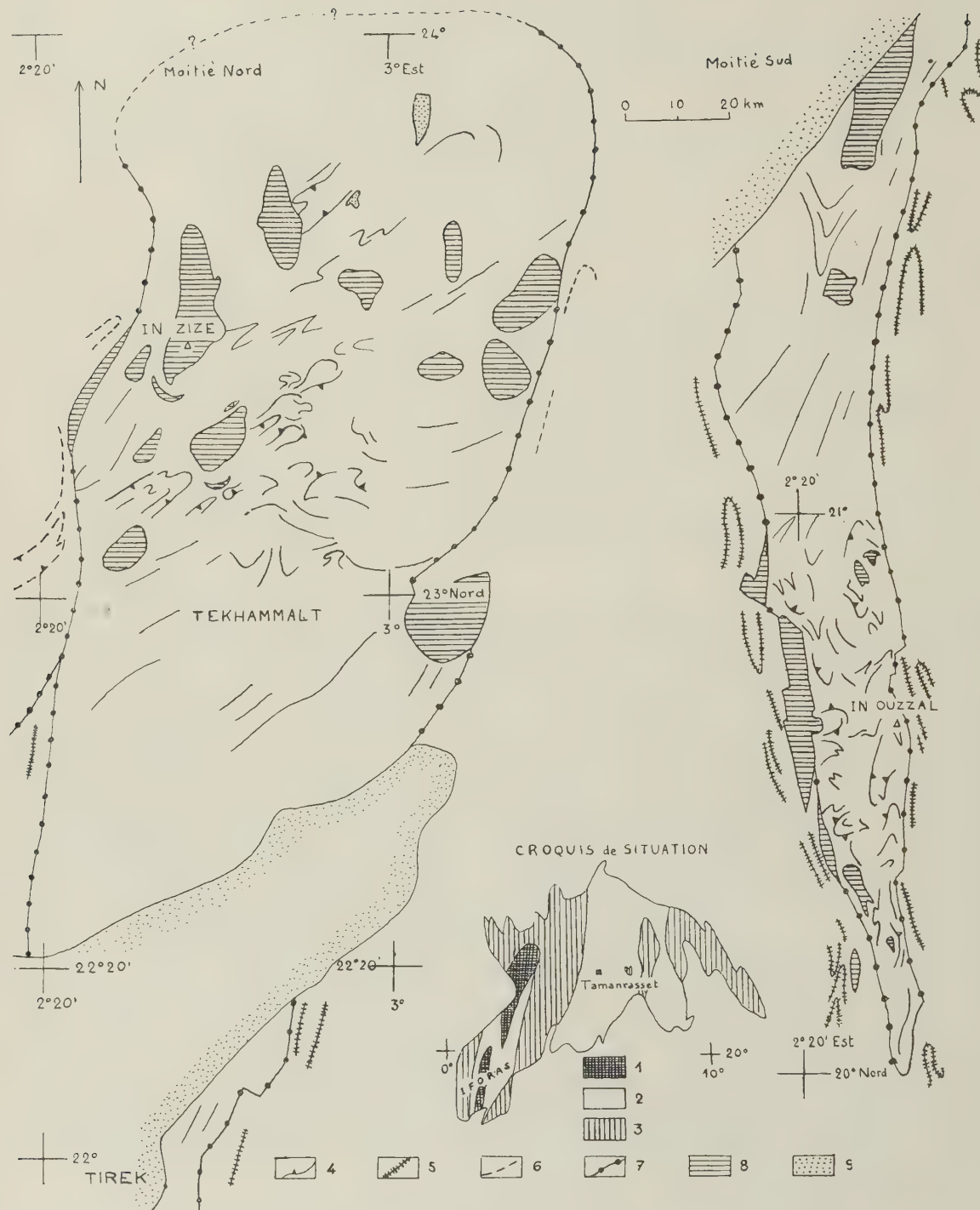


FIG. 1. — Esquisse structurale du Suggarien à faciès In Ouzzal.

1 : Suggarien à faciès In Ouzzal ; 2 : Suggarien normal ; 3 : Pharusien ; 4 : bancs repères du Suggarien à faciès In Ouzzal ; 5 : bancs repères du Suggarien normal ; 6 : bancs repères du Pharusien ; 7 : contacts anormaux ; 8 : granites, granodiorites, ultrabasites, complexes subvolcaniques ; 9 : recouvrement (série pourprée de l'Ahnnet, Continental intercalaire, dunes).

quièrent des tons rosâtres. Les termes basiques deviennent verdâtres du fait de l'ouralitisation des pyroxènes.

Les calcaires cristallins associés à ces charnockites sont différents de ceux du Suggarien normal ou du Pharusien. De couleur variable, ils sont surtout caractérisés par de nombreux nodules silicatés pouvant atteindre plusieurs centimètres et faisant saillie en surface comme des verrues multicolores. Dans le Nord, ils constituent souvent d'excellents bancs repères, tandis que dans le Sud ils ne forment que des traînées d'amas informes. A côté de la calcite largement cristallisée, ils renferment : olivine serpentinisée, phlogopite, diopside, spinelle, graphite.

De magnifiques gneiss rubanés à grenat affleurent en position synclinale sur des charnockites près de la frontière soudanaise. Il semble s'agir d'anciens gneiss à quartz, oligoclase, microcline, cordiérite (zone des gneiss ultra-inférieurs) rétrotransformés dans la zone des gneiss inférieurs (résidus de cordiérite au sein d'amas mica-cés). A ces gneiss sont associés des bancs de gneiss et quartzites à sillimanite, à graphite, rencontrés sur plus de 30 km en direction N-S.

Au Nord, les structures sont souvent soulignées par de puissants bancs de quartzites à minéraux variés : hypersthène, grenat, sillimanite, magnétite.

Une mention spéciale doit être faite pour un ensemble de roches particulières malgré leur importance géographique réduite. Il s'agit de « syénites », de gneiss et de quartzites à wollastonite. Pour ma part, je les considère comme résultant d'une reprise par des matériaux felsiques d'assises calcaires lors d'une phase tardive de migmatisation.

Enfin, il reste à parler des leptynites qui constituent avec les charnockites l'essentiel de la bande à faciès In Ouzzal. Il s'agit de roches largement grenues voire pegmatitiques. L'orientation des yeux, amandes, feuillets de quartz bleuté ou violacé déterminent une foliation très nette. Leur couleur est très claire (rose-blanc) car outre le quartz elles sont très souvent exclusivement constituées de feldspaths et dépourvues de ferro-magnésiens.

On les rencontre surtout sur les feuilles In Ouzzal et Tirek. Elles y forment des bancs massifs dépassant souvent plusieurs centaines de mètres de puissance. On les trouve aussi en amas plus ou moins lenticulaires, en loupes, en bancs centimétriques, en veinules, en filons, en « bouffées » au sein des charnockites où elles y donnent des embréchites rubanées ou de magnifiques anatexites.

Au point de vue minéralogique, outre le quartz (renfermant de fines inclusions aciculaires de rutile) et les feldspaths représentés essentiellement par du microcline perthitique, accessoirement par de l'oligoclase acide, on note la présence très accessoire de biotite brun-rouge, de chlorite, d'épidote, d'apatite. La structure est porphyroblastique.

Ces leptynites doivent être dissociées sans discussion des charnockites. Elles ne montrent pas le faciès malgachitique et ne renferment d'orthopyroxène que dans la mesure où elles ont « digéré » ces charnockites. Leur interprétation sera abordée plus loin.

AGENCEMENT STRUCTURAL. — L'agencement des formations à faciès In Ouzzal est totalement différent de celui du Suggarien normal. Les axes de plis n'ont pas l'orientation quasi uniformément N-S. Dans le Nord, ils sont dirigés préférentiellement selon environ N 60° E et n'ont pas l'amplitude, la régularité et le parallélisme de ceux du Suggarien normal. En outre, entre les structures majeures, on observe des sortes de protubérances, d'apophyses adventives comme s'il y avait eu emboutissage.

Au Sud, sur la feuille In Ouzzal, les choses sont beaucoup plus complexes en raison tout d'abord du très grand nombre d'accidents importants qui font percuter les directions des compartiments voisins. En outre, on a l'impression ici que les structures primitivement proches de E-W ont été rebroussées près de la limite orientale pour devenir subméridiennes. On peut penser que ce débitage en compartiments déplacés et ce rebroussement sont contemporains de la mise en place du horst et que les blocs suggariens encaissants ont joué comme les mâchoires d'un étoupe.

LIMITES DE LA BANDE A FACIÈS IN OUZZAL. — A l'Est, on a un contact anormal, soit avec le Suggarien (moitié sud), soit avec le Pharusien (moitié nord). En ce qui concerne celui avec le Suggarien normal, le fait capital observé en compagnie de P. Illy, lequel l'a bien mis en évidence dans son rapport de fin de mission [1959], est qu'il est souligné par une bande régulière de roches mylonitiques suivie en continuité sur plus de 100 km en direction (feuilles In Ouzzal-Tirek). Sa puissance est variable. Elle peut atteindre 200 m, peut se dédoubler et localement être décrochée par des failles récentes, obliques. Il s'agit de mylonites des deux ensembles. Ce gigantesque accident, qui se poursuit certainement au Nord, est subparallèle aux axes des plis suggariens mais oblique par rapport à ceux du

complexe leptyno-charnockitique. Toutefois il faut noter que, fréquemment, à l'approche des mylonites, les couches « In Ouzzal » s'infléchissent brutalement pour leur devenir subparallèles.

Quant au contact avec le Pharusien, son étude est en cours par Le Fur et J. Arène.

Passons à la limite occidentale. Là encore les formations à faciès In Ouzzal sont en contact anormal, soit avec le Suggarien (Sud-Centre), soit avec le Pharusien (Nord). Avec le Suggarien normal, dont les directions majeures sont subparallèles au contact, on ne rencontre pas de bande mylonitique comme à l'Est et le passage de l'un à l'autre se fait de diverses façons.

Tout d'abord, comme par exemple sur la feuille In Ouzzal, des massifs lenticulaires de granites orientés à chlorite et hornblende s'allongent entre les deux ensembles.

Au Nord de ces granites syntectoniques, en partant des gneiss à biotite du Suggarien normal, à schistosité régulière d'orientation submérienne et en se dirigeant vers l'Est, on voit ces gneiss affectés d'une multitude de microplissements désordonnés à axes subverticaux. Mais ce ne sont pas des mylonites. Puis on passe aux charnockites d'orientation privilégiée vers NE ou ENE, soit directement, soit par l'intermédiaire de gneiss cœllés-chloriteux situés dans le prolongement des granites syntectoniques.

Sur la feuille In Zize le contact avec le Pharusien est là encore anormal. On passe du Pharusien d'orientation majeure N-S au complexe leptyno-charnockitique N 45° E, soit par une petite zone mylonitique, soit par l'intermédiaire de granodiorites.

En ce qui concerne le contact septentrional il est très difficile à observer en raison du recouvrement dunaire (au Nord-Ouest); il est en cours d'étude par J. Arène (au Nord-Est).

Enfin la terminaison sud est très floue. On passe progressivement au Suggarien normal. Les leptynites à faciès In Ouzzal par exemple ne forment plus que des amas plus ou moins lenticulaires analogues à des pegmatites. Elles laissent la place à des migmatites suggariennes normales.

ESSAI D'INTERPRÉTATION DE CES FORMATIONS. — Tout d'abord il est hors de doute que tous les termes du complexe charnockitique sont des roches métamorphiques de par leur gisement en couches interstratifiées, leur agencement structural, leurs textures, leurs structures.

Ensuite les paragenèses rencontrées sont caractéristiques du faciès granulite [Eskola, 1939, 1957].

Par contre-coup, il est logique d'admettre que les calcaires à nodules silicatés interstratifiés dans les charnockites se sont formés également sous les conditions du faciès granulite. Il en est de même des diverses variétés de quartzites qui renferment le plus souvent d'ailleurs de l'hypersthène.

Les gneiss à grenat eux présentent des paragenèses un peu particulières. On sait que les paragenèses caractéristiques du faciès granulite apparaissent en gros à une profondeur correspondant à la zone des gneiss ultra-inférieurs de la classification de J. Jung et M. Roques [1952] (pour des séries silico-alumineuses). Or les gneiss à grenat présentent des associations caractéristiques de la zone des gneiss inférieurs. Étant en position synclinale sur les charnockites, on pourrait penser à une limite zonéographique entre ces deux catégories de roches. Mais précédemment j'ai émis l'hypothèse que ces gneiss à grenat résultaient d'une rétro-morphose de la zone des gneiss ultra-inférieurs à celle des gneiss inférieurs.

Quant à l'origine de ces diverses formations, qui présentent un faciès métamorphique de haute intensité, elle est, à mon avis, essentiellement sédimentaire. Il s'agit pour les charnockites, d'anciennes séries schisteuses renfermant des niveaux gréseux et marneux. À l'intérieur étaient interstratifiés des bancs carbonatés, souvent magnésiens, gréseux ou carbonés (calcaires à nodules silicatés, à graphite) et des couches alumineuses (gneiss à grenat sillimanite).

Il reste à parler des leptynites à quartz bleuté. Nous avons vu que leur matériel quartzo-feldspathique était totalement différent de celui des charnockites, qu'il avait un gisement analogue aux parties granitiques des migmatites mais qu'il en différait par de nombreux caractères (texture, structure, paragenèse).

Il y a donc deux principaux problèmes à résoudre à leur sujet : celui de l'origine de leurs éléments constitutifs et celui de savoir pourquoi elles ont un « faciès », une allure si particulière.

En ce qui concerne le premier point, il relève bien entendu du grand problème de la migmatitisation et de la granitisation. S'agit-il de l'injection d'un matériel totalement étranger, d'une métasomatose à grande échelle, ou d'une recristallisation d'un matériel arénacé ou rhyolitique accompagnée localement d'une mobilisation au sein des charnockites encaissantes ? Sur ce point délicat je ne ferai qu'exprimer un sentiment, celui de considérer cette dernière hypothèse comme la plus séduisante...

Quant à savoir pourquoi ces leptynites ont cet aspect si particulier, il faudrait d'abord en faire

une étude géochimique détaillée. Elle sera faite ultérieurement. Mais on constate une chose, c'est que la « trame » de ce matériel quartzofeldspathique est constituée par l'un quelconque des types de charnockites, alors que la « trame » des migmatites suggariennes normales est essentiellement faite par des gneiss à biotite ou à amphibole ; leur « ichor » étant un matériel granitique, aplitique ou pegmatitique banal.

Il semble donc logique de penser que la genèse des leptynites à faciès In Ouzzal s'est effectuée sous des conditions physico-chimiques particulières, à savoir celles du faciès granulite, en précisant toutefois que leur remise en mouvement localisée a dû se faire lors d'une phase relativement tardive. On a en effet l'impression d'une injection, d'une imprégnation des charnockites déjà formées par ces leptynites.

POSITION STRATIGRAPHIQUE DES FORMATIONS A FACIÈS IN OUZZAL. — C. Kilian [1932] a individualisé dans le massif cristallin du Hoggar deux grands cycles orogéniques, tous deux antécambriens : le Suggarien à la base, le Pharusien au sommet. M. Lelubre [1952] confirma pleinement cette hypothèse et rangea les formations à faciès In Ouzzal dans les séries suggariennes, en raison, en particulier, de la présence, dans les conglomérats de base du Pharusien, de galets de roches à faciès In Ouzzal.

Dans l'état actuel des choses, cette attribution me paraît justifiée mais mérite d'être discutée.

On peut se demander en effet si les formations à faciès In Ouzzal ne constituent pas une série plus ancienne totalement indépendante des séries suggariennes.

Du point de vue lithologique, le matériel est totalement différent de celui du Suggarien normal.

Du point de vue structural, en plus des styles différents, il y a, à l'Est, une discordance tectonique entre les deux ensembles, comparable à celle fréquemment observée entre Suggarien et Pharusien.

Néanmoins, il me paraît plus logique de ranger le complexe leptyno-charnockitique parmi les séries suggariennes : la différence des matériaux constitutifs correspond essentiellement à une différence d'intensité de métamorphisme. Le Suggarien normal présente les paragenèses du faciès amphibolite ou de la zone des gneiss inférieurs, les formations à faciès In Ouzzal celles du faciès granulite développées dans la zone des gneiss ultra-inférieurs. Dans les deux

ensembles, on note la présence de calcaires cristallins, de quartzites, de gneiss alumineux et il est vraisemblable d'avancer l'hypothèse que les différents termes du complexe charnockitique sont les homologues du complexe suggarien gneisso-amphibolique. Enfin on n'a pas observé de conglomérats à la base du Suggarien normal.

Quant à la disharmonie structurale, on pourrait la considérer comme un nouvel exemple de deux tectoniques superposées au sens de C. Wegmann [1947], bien qu'une analyse structurale minutieuse n'ait pas été entreprise. Une partie des séries suggariennes, peut-être leur base mais pas forcément, aurait été enfouie dans ce que cet auteur appelle le sous-socle, y aurait acquis le faciès granulite sans perdre toutefois tous ses caractères stratigraphiques. Le comportement de ce sous-socle lors des plissements aurait été totalement différent de celui de sa couverture et la disharmonie ainsi créée serait d'ordre à la fois zonéographique et structurale. Elle aurait servi de « piège » à la granitisation syntectonique à l'Ouest et aurait guidé la fracturation orientale lors de la remontée du horst.

EN CONCLUSION, on peut tenter de retracer l'histoire géologique de cet ensemble de formations si originales malgré les connaissances encore bien fragmentaires que nous en avons.

Une portion des séries suggariennes a été enfouie à une profondeur correspondant à la zone des gneiss ultra-inférieurs où régnaient les conditions du faciès granulite. Ainsi prirent naissance, aux dépens essentiellement d'un complexe sédimentaire bien différencié, les diverses variétés de charnockites, les calcaires silicatés, les gneiss à grenat, les quartzites à minéraux variés, ainsi sans doute que les leptynites. La remise locale en mouvement de ces dernières, déclenchée vraisemblablement par l'amorce des plissements, a dû s'effectuer sous les mêmes conditions. Les plissements s'intensifiant déclenchèrent la remontée du bloc. Celle-ci fut d'abord lente puisqu'on note localement une rétro-morphose dans la zone des gneiss inférieurs, mais la phase majeure des plissements suggariens se produisant, soustrait l'ensemble aux influences du métamorphisme général. La remontée du bloc en est ainsi accélérée. Elle s'accompagne d'une granitisation syntectonique à l'Ouest et s'achève au début du cycle pharusien, peut-être même durant ce cycle, par un gigantesque accident à l'Est.

Bibliographie.

- ESKOLA P. (1939). — Die metamorphen Gesteine. In BARTH, CORRENS et ESKOLA, Die Entstehung der Gesteine. Berlin. J. Springer.
- (1957). — On the mineral facies of charnockites. *J. Madras Univ. Bull.* 27, n° 1 (Centenary number).
- GIRAUD P. (1959). — Sur la présence de couches à graphite dans le Suggarien à faciès In Ouzzal. Rapport B. R. M. A. (inédit).
- ILLY P. (1959). — Feuilles au 200 000^e Tirek et In Ouzzal. Rapport de fin de mission B. R. M. A. (inédit).
- JUNG J. et ROQUES M. (1952). — Introduction à l'étude zonéographique des formations cristallophylliennes. *Bull. Serv. Carte géol. France*, t. L, n° 235.
- KARPOFF R. (1954). — Stratigraphie de l'Antécambrien de la partie occidentale de l'Adrar des Iforas (Sahara soudanais). *C. R. Ac. Sc.*, t. 238, p. 129-130.
- KILIAN C. (1932). — Sur des conglomérats précambriens du Sahara central : le Pharusien et le Suggarien. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 87.
- LACROIX A. (1923). — Minéralogie de Madagascar. Paris, Challamel éd.
- LELUBRE M. (1949). — Sur l'existence d'une série à hypersthène au Tanezrouft oriental et dans l'Adrar des Iforas. *C. R. Ac. Sc.*, t. 229, p. 443-445.
- (1952). — Recherches sur la géologie de l'Ahaggar central et occidental (Sahara central). *Bull. Serv. Carte géol. Algérie*, 2^e sér., n° 22.
- MEINDRE M. et BYRAMJEE R. (1956). — Mission hélicoptère 1955-1956. Rapport B. R. M. A. (inédit).
- RADIER H. (1959). — Contribution à l'étude géologique du Soudan oriental (A. O. F.). 1^{er} tome : Le Précambrien saharien au Sud de l'Adrar des Iforas. *Bull. Serv. Géol. Prosp. min. A. O. F.*, n° 26.
- ROYER C. (1958). — Mission R V 2. Rapport B. R. M. A. (inédit).
- WEGMANN C. E. (1947). — Note sur quelques problèmes de la tectonique superposée. *Bull. Com. géol. Finlande*, n° 140, p. 223-238.

Un massif granitique à structures concentriques : le Tisselliline

par Michel BOUVET et Claude REBOUL *.

Sommaire. — L'Adrar Tisselliline est un massif granitique à structures concentriques intrusif dans des séries pharusiennes, situé dans le Nord-Est du Hoggar près du Tassili des Ajjer. Il est constitué par quatre types de granites ; du centre vers la périphérie, ce sont : un granite fin, entouré par un granite moyen, tous deux cataclasés ; deux anneaux successifs sont constitués par un granite porphyroïde et par un granite grossier, beaucoup moins tectonisés.

Les auteurs comparent ensuite le massif du Tisselliline à ceux de la lignée des « Taourirt » et aux « Younger granite » du Nigeria.

L'Adrar Tisselliline est un massif granitique situé dans le Nord-Est du Hoggar près du Tassili des « Ajjer ». Il est intrusif dans le bassin pharusien de Serouenout et recoupe dans sa partie nord-occidentale un petit horst suggarien. Il est original à double titre :

— *géographiquement*. Il est relativement isolé alors que la plupart des granites postectoniques, de la lignée des « Taourirt », se groupent en axes N-S parallèlement au grand accident de 4° 50' (cf. études de J. Boissonnas).

— *péetrographiquement*. Ses faciès diffèrent sensiblement de ceux des « Taourirt ».

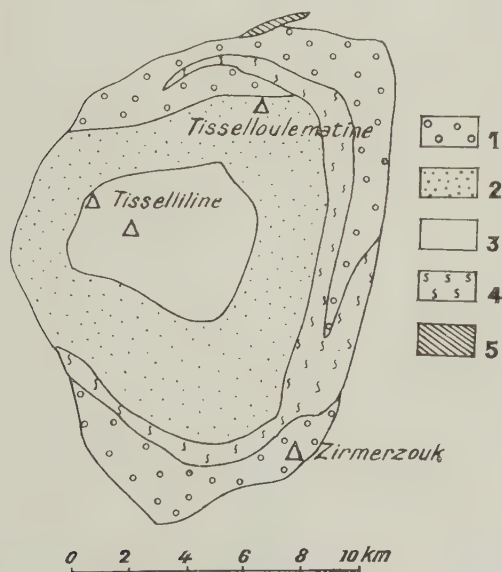


FIG. 1. — Croquis des faciès du Tisselliline.

1 : granite grossier ; 2 : granite moyen ; 3 : granite fin ;
4 : granite porphyroïde micacé ; 5 : granite leucocrate.

1. TYPES DE GRANITES. — L'étude de terrain a permis de distinguer quatre principaux types de granite.

a) *Le granite fin*. Il se présente en fait sous trois faciès légèrement différents.

— un granite gris soutenu, à biotite, très fin, à texture subaplitique. L'étude microscopique montre que la structure est confuse, fine, engrenée. Les orthoclases sont fréquents, souvent pœcilitiques et bordés de myrmékite. Les plagioclases, plus rares, sont corrodés par les autres minéraux et fortement séricitisés. La biotite est résiduelle, en cloisons et chloritisée.

— un granite blanc à micas mordorés allongés, bien individualisés. L'aspect microscopique est assez semblable à celui du granite précédent. La biotite se présente toutefois en longues baguettes et il convient de signaler parfois l'association micropegmatitique du quartz et du microcline.

— un granite rose un peu plus grossier, équi-granulaire. Le quartz est à tendance globuleuse et la biotite plus rare que dans les types précédents. L'étude microscopique révèle toujours une structure engrenée, mais à tendance granoblastique et de plus un peu cataclastique.

b) *Le granite moyen*. Il est de teinte gris-rose, équi-granulaire, à biotite. Le quartz est à tendance automorphe. Les feldspaths augmentent parfois de taille ; le granite devient alors sub-porphyroïde et se charge de biotite, surtout au voisinage du granite porphyroïde noir.

La structure est toujours engrenée et pœcilitique, le microcline étant très abondant. Les plagioclases (oligoclase) sont toujours en rares

* Note présentée à la séance du 24 avril 1961.

petites baguettes automorphes et la biotite est chloritisée.

c) *Le granite porphyroïde noir*. Il est constitué de grands feldspaths automorphes et d'aggrégats de petits cristaux de quartz et de biotite. Celle-ci, très abondante et souvent très rassemblée, donne au granite sa teinte sombre caractéristique.

Au microscope, la structure est porphyroblastique avec une pâte. Les porphyroblastes (microcline et plagioclases zonés) sont corrodés par la pâte. Celle-ci est riche en quartz, microcline avec myrmékite et micropegmatite, biotite plus ou moins chloritisée, bien plus pauvre en plagioclase. Le sphène est présent.

d) *Le granite rose grossier*. C'est un granite à biotite d'un rose soutenu. Il est constitué de très grands cristaux de quartz, d'orthose et de biotite ; le quartz est en chapelets.

L'étude microscopique permet de voir la disposition en cloisons des ferromagnésiens (biotite brune ou verte) ainsi que la présence de petits grenats.

Dans le NE du massif, le granite prend un faciès d'endomorphisme, sombre et orienté, et un granite orbiculaire affleure localement¹.

Les paramètres de Lacroix de ces divers types de granite sont les suivants :

granite fin	I-4-2-3 (4)
granite moyen	I-4-2-3
granite porphyroïde noir	I'-4-2-3
granite rose grossier	I- (3) 4-2-3

2. SITUATION DES DIVERS GRANITES. LEURS CONTACTS. — Ces divers granites présentent une structure annulaire remarquable. Du centre vers la périphérie, on trouve successivement : le granite fin, le granite moyen, le granite noir porphyroïde, le granite rose grossier.

Les limites des trois faciès de granite fin ne sont pas cartographiables au 50 000^e. Dans l'ensemble, le granite gris domine dans la région centrale du Tisselliline *stricto sensu*, le blanc constitue la moyenne partie du flanc est du Tisselliline. Le rose est plus externe, souvent en contact avec le moyen.

Le contact entre granites fin et moyen est très net en quelques points, et présente alors un pendage de l'ordre de 40° vers l'extérieur. En d'autres lieux, il est difficile à observer ; il a parfois lieu par failles.

Le granite moyen constitue un anneau autour du massif du Tisselliline *stricto sensu*. Il est presque partout en contact avec le granite porphyroïde noir. Ce contact est franc. Cependant au N du Tisselloulematine, il est souligné par une formation de couleur rouge : il s'agit d'un

granite à aspect bréchique, parfois géodique. Exceptionnellement au Nord, le granite moyen est en contact avec le granite rose grossier. Ce contact situé dans une zone faillée à remplissage quartzo-calcédonieux, est assez confus.

Le granite porphyroïde noir constitue autour du granite moyen un anneau d'une largeur moyenne de 1 km. Le contact de ce granite et du granite rose grossier est très franc et, au moins dans le Sud, paraît vertical. Signalons que le granite noir est localement en contact avec l'encaissant par suite d'un laminage du granite rose grossier. Ces granites porphyroïdes noir et rose grossier ont un contact bréchoïde, analogue à celui existant au N du Tisselloulematine entre granites noir et moyen.

Le granite rose constitue la partie externe du massif et, en particulier, les reliefs du Zirmerzouk et du Tisselloulematine NW.

3. RELATIONS AVEC L'ENCAISSANT. — La majorité des roches encaissantes appartient à une série pharusienne épi- à mésométamorphique : schistes sériciteux, quartzites, cipolins, mica-schistes. Toutefois au Nord-Ouest affleurent quelques migmatites et à l'Ouest-Nord-Ouest sur environ 2 km, le massif recoupe un petit horst constitué de gneiss suggariens².

A l'Ouest, au Sud et à l'Est, le contact est bien franc et intrusif. Le métamorphisme de contact est absent ou très léger (au Sud). Le contact peut être localement faillé.

Dans le Nord-Est, le contact est moins franc : le granite envoie des apophyses entre lesquelles apparaissent des lambeaux de roches plus ou moins transformées (gneiss rubanés, diorite etc.). Dans toute cette zone, le granite rose prend un aspect endomorphique : il se charge de mica, le quartz est rubané et la roche présente un aspect presque gneissique.

Au Nord, le granite rose grossier est limité par un granite leucocrate, légèrement albitique, qui constitue un important relief. Le contact est franc, vertical. Cette lame de granite, de composition fort différente des granites du massif précédemment décrits, est séparée de l'encaissant par une zone faillée.

4. TECTONIQUE. AGES RELATIFS DES DIVERS GRANITES. HYPOTHÈSE SUR LEUR ORIGINE. — Le grand axe du massif est NNE-SSW.

1. GROLIER J. (1961). : Sur le granite orbiculaire de Tisselliline (Hoggar, Sahara central). *B. S. G. F.*, (7), III, p. 174-181.

2. REBOUL C. (1961) : Sur deux petits massifs suggariens présentant certains caractères du faciès In Ouzzal. *B. S. G. F.*, (7), III, p. 162-170.

Il existe deux directions principales de fractures, soulignées par des filons de quartz et des massifs de granite silicifié. L'une est E-W. Dans le SE du Tisselliline, elle s'infléchit vers le Sud-Est et l'aplite remplace alors le quartz dans le remplissage filonien. L'autre est parallèle au grand axe du massif.

Les granites du centre, fins et moyens, sont fortement écrasés, beaucoup plus que les granites grossiers externes. Nous en déduisons que les granites centraux se sont mis en place les premiers.

Cette opinion a été confirmée par J. Boissonnas qui a, en outre, formulé une hypothèse intéressante quant à la nature des deux granites grossiers : ceux-ci résulteraient en grande partie de transformations ayant affecté les schistes cristallins pharusiens peu métamorphiques³.

L'étude du granite orbiculaire du Nord-Est du Tisselliline a par ailleurs suggéré à J. Grolier¹ que la genèse du massif du Tisselliline a pu comporter une phase analogue à une migmatisation.

CONCLUSION. — Le Tisselliline est très intéressant en raison de sa structure annulaire.

J. Ranoux et J. Boissonnas ont montré l'ordonnance concentrique des granites jeunes traversant le Pharusien du Hoggar central, mais le Tisselliline est le seul batholite du Hoggar oriental montrant une telle disposition.

Les « Taourirt » du Hoggar central montrent deux ou trois faciès de granite à biotite s'ordonnant grossièrement de façon concentrique.

D'après J. Boissonnas⁴ « les granites qui s'emboîtent en zones concentriques sont porphyroïdes, de plus en plus fins et de plus en plus récents lorsqu'on se dirige vers l'intérieur ». Au Tisselliline, les types de granite sont bien individualisés et ne semblent pas dériver d'un même faciès originel. De plus le granite central est le plus ancien.

Le Tisselliline a, en outre, une certaine analogie avec les « Younger granite » du Nigeria (structures en ring). Mais la mise en place, mal connue au Tisselliline, semble différente. Il y a fort peu de traces de fracturation et d'effondrement entre chaque anneau, excepté peut-être entre le granite porphyroïde noir et le granite grossier. En effet le contact entre ces deux derniers est le plus souvent vertical, quelquefois faillé.

Pétrographiquement, il y a aussi des différences notables : le Tisselliline n'est constitué que de granites à biotite alors que les « Younger granite » présentent en plus des granites à biotite, des faciès nettement plus acides : granites à aegyrine, riebeckite et rhyolites.

3. BOISSONNAS J. (1959) : Rapport B. R. G. M., XI/59 (inédit).

4. BOISSONNAS J. (1960) : Sur les structures concentriques des granites jeunes traversant le Pharusien du Hoggar (Sahara central). C. R. Ac. Sc., t. 250, p. 4016-4017.

Sur le granite orbiculaire de Tisselliline (Hoggar, Sahara central)

par Jacques GROLIER *.

Sommaire. — Dans la partie septentrionale du massif granitique de Tisselliline, et près de la bordure de celui-ci, se trouve un petit affleurement de granite orbiculaire. Les orbicules sont constitués d'un noyau essentiellement feldspathique et d'une ou deux enveloppes plagioclasiques fibroradiées. La mésostase est un granite relativement mélanocrate. L'étude pétrographique et chimique conduit à interpréter la genèse de ce granite orbiculaire selon la théorie de la double diffusion.

Alors que les roches orbiculaires se trouvent en général à proximité d'un front de migmatites, l'existence du gîte étudié montre que ce faciès peut également être associé aux granites en massifs circonscrits. Elle suggère, quant à la genèse de certains massifs de ce type, l'éventualité d'une phase analogue à une migmatisation.

GISEMENT. — Un affleurement de granite orbiculaire est situé environ par $7^{\circ}15'47''$ de longitude Est et $25^{\circ}1'16''$ de latitude Nord (feuille Aharhar au 200 000^e). Il fut découvert en décembre 1956 par C. Reboul, M. Bouvet et J. Grolier, géologues de la mission de prospection du Bureau des recherches minières de l'Algérie (B. R. M. A.), opérant à l'époque dans la région.

Le gisement est localisé à la bordure nord du massif granitique de Tisselliline. M. Bouvet et C. Reboul [1961], qui ont cartographié ce massif, circonscrit, allongé N-S et de dimensions principales 12 et 16 km, y distinguent quatre faciès principaux de granite. Ces faciès sont disposés selon un gisement annulaire ; soit du centre vers la périphérie : « granite fin, granite moyen, granite noir porphyroïde, granite rose grossier ». C'est au sein de ce dernier que se trouve l'affleurement de granite orbiculaire, à 300 m du contact — net — avec les terrains métamorphiques du Dj. Ounane.

L'affleurement de granite orbiculaire ne couvre pas plus de quelques dizaines de mètres carrés. Il présente un modelé spectaculaire (fig. 1 A) qui contraste avec la morphologie habituelle des granites du Hoggar : on évoque irrésistiblement des empilements de boulets de canon. Cet aspect curieux s'explique par la désagrégation sur place du « ciment » grenu qui relie les orbicules, si bien que ce gîte constitue un bel exemple d'érosion d'une roche orbiculaire sous climat désertique chaud.

Dans la roche orbiculaire non altérée (fig. 1 B), les orbicules sont serrés les uns contre les autres

au point que le volume du ciment ou mésostase semble réduit au minimum. Mais l'on remarque aussi, dispersés dans le « granite rose grossier », quelques orbicules isolés et des feldspaths dont la forme incurvée donne à penser qu'ils représentent peut-être des orbicules figés en cours de formation, en quelque sorte des orbicules embryonnaires. On observe ces faits dans un rayon d'une dizaine de mètres autour de la formation à orbicules jointifs, principalement à l'W et au NW de celle-ci. Le contact entre les deux formations (formation à orbicules jointifs et granite rose à orbicules dispersés) n'est visible que sur quelques mètres : il est net.

FORME ET DIMENSION DES ORBICULES. — Qu'ils soient isolés ou jointifs, les orbicules se présentent comme des masses sphéroïdales ou ovoïdes de 5 à 15 cm de diamètre, constituées d'un noyau et d'une ou deux enveloppes (fig 1 C et D)¹. Ils ont la particularité remarquable de se détacher facilement de la mésostase, probablement à cause de l'altération, et dans quelques cas il en est de même de l'enveloppe externe — quand elle existe — qu'un léger coup peut aider à séparer du bloc indissociable noyau-enveloppe interne. La chance aidant, nous avons pu ainsi confectionner sur place en quelques minutes une sorte de cendrier en forme de coupelle.

* École nationale supérieure des Mines de Saint-Étienne (Loire). Note présentée à la séance du 24 avril 1961.

1. Je remercie bien vivement M. Belleville, assistant au laboratoire de Géologie appliquée de la Faculté des Sciences de Lyon qui a réalisé les photographies d'échantillons C et D.

D'un échantillon à l'autre, le noyau est d'une taille qui peut varier de 3 à 6 cm. L'épaisseur totale des enveloppes est d'autant plus faible que le noyau est plus gros et la fonction traduisant cette relation paraît être linéaire. On trouve même des nodules isolés sans enveloppe. Lorsqu'il y a deux enveloppes, l'externe est un peu plus épaisse que l'interne. Ainsi, d'après des

mesures effectuées sur quatre orbicules en provenance de ce gîte, le rapport entre les épaisseurs moyennes des enveloppes, mesurées suivant le grand axe et le petit axe, est compris entre 1,44 et 1,94. Les épaisseurs respectives varient d'un échantillon à l'autre de 4,5 à 16,5 mm pour l'enveloppe interne, et de 8,25 à 25,25 mm pour l'externe.

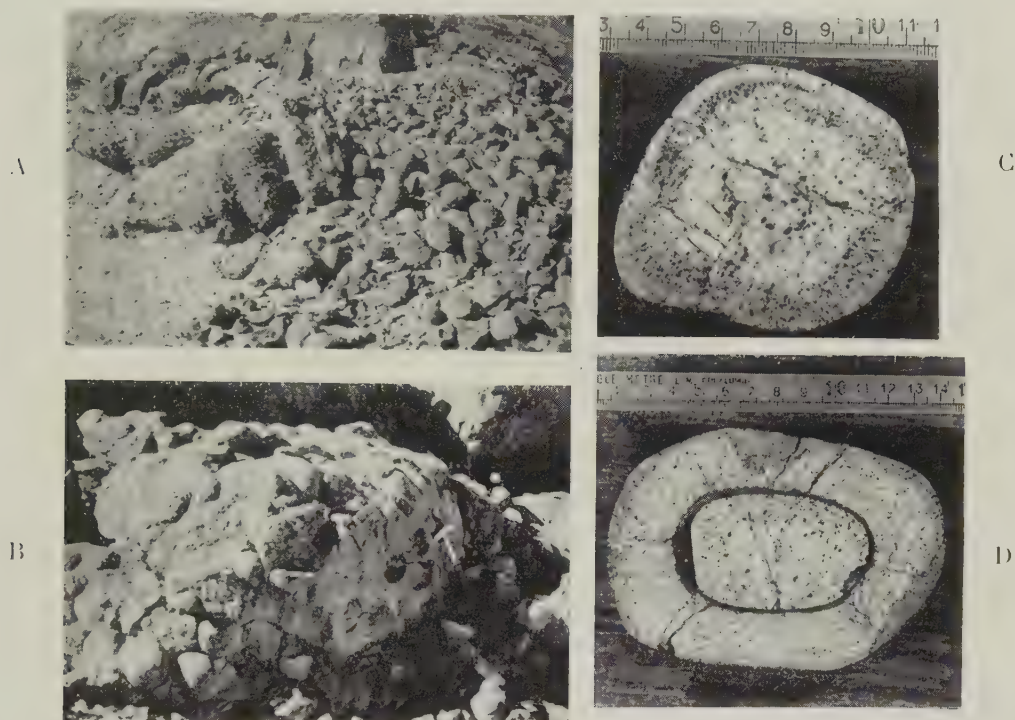


FIG. 1.

A : Granite orbiculaire de Tisselliline ; vue partielle de l'affleurement : empilement des orbicules libérés par la désagrégation de la mésostase. — B : Granite orbiculaire de Tisselliline ; vue de détail : remarquer l'arrangement serré des orbicules, laissant peu de place à la mésostase. — C : Orbicule à enveloppe unique ; en laboratoire, l'échantillon a d'abord été scié suivant une section diamétrale puis poli. — D : Orbicule à deux enveloppes ; l'échantillon, tranché diamétralement par une diaclase, a été trouvé quasiment en l'état sur le terrain ; il n'a subi en laboratoire qu'un simple polissage. La partie centrale (noyau plus enveloppe interne) est facilement amovible.

Le nombre des enveloppes, toujours inférieur à trois, est malheureusement trop faible pour que l'on puisse déterminer la loi de leur répartition par rapport au centre de l'orbicule en fonction de leur numéro d'ordre. On ne saurait donc utiliser le critère morphoscopique pour déterminer, ainsi que Leveson [1959] a pu le faire dans un cas analogue, si l'orbicule est d'origine magmatique (loi de répartition arithmétique) ou d'origine métasomatique (loi exponentielle).

ASPECT MACROSCOPIQUE DE LA MÉSOSTASE. — Très différente du « granite rose grossier », la mésostase est un granite gris à grain moyen homogène. Sa texture est tantôt équante, tantôt vaguement orientée. La biotite a une tendance à se rassembler en petits paquets de 2 à 3 mm. Certains des moules externes imprimés par les orbicules sur la mésostase montrent des stries que l'on ne retrouve pas à la surface des orbicules eux-mêmes. L'ensemble de la formation sem-

blerait avoir eu à un moment donné un comportement plastique. Ces stries seraient alors les traces du mouvement relatif d'éléments solides — les orbicules — par rapport au milieu facilement déformable à ce moment-là et qui constitue maintenant la mésostase.

EXAMEN PÉTROGRAPHIQUE. — L'étude microscopique que nous avons faite porte sur la mésostase et sur les orbicules dont nous décrirons deux types, l'un à une enveloppe, l'autre à deux enveloppes. En ce qui concerne le granite voisin — le « granite rose grossier » — nous nous contenterons de renvoyer le lecteur à la note de M. Bouvet et C. Reboul [1961].

1. *La mésostase.* Elle présente une structure de type cloisonné et à plagioclases automorphes. Le quartz est en grandes plages à bords dentelés, ou bien en amas ou chapelets dentelliformes. Dans tous les cas, il est à extinction roulante. Le microcline se trouve soit individualisé, soit en inclusions informes dans les plagioclases. La myrmékite est fréquente. Les plagioclases (oligoclase An 20) sont légèrement séricitisés et souvent brisés. La biotite, qui est de toutes tailles, forme les cloisons et elle est parfois chloritisée. Les minéraux accessoires sont du sphène, de petits zircons à auréoles pléochroïques accompagnant les biotites, et de l'apatite en sections relativement nombreuses. A citer enfin de la limonite et un réseau fissural général opaque.

2. *Orbicules à une enveloppe.* Une lame mince taillée radialement dans l'enveloppe d'un tel orbicule montre les caractères suivants (fig. 2 A). Le quartz est en plages xénomorphes, allongées et disposées en alignements radiaires. Il participe donc à la structure orbiculaire, bien qu'il paraisse postérieur au feldspath. Celui-ci, aussi abondant que le quartz, est un plagioclase à macles de l'albite peu ou pas visibles. L'extinction onduleuse gêne considérablement le diagnostic : il s'agit probablement d'oligoclase An 20. Il renferme de nombreuses inclusions en poussières ou en minuscules aiguilles indéterminables. Il est rarement séricitisé. On note en outre quelques plages isolées de biotite et de chlorite. La muscovite est rare. L'extinction onduleuse affecte toute l'étendue de la lame mince, par zones successives, un peu comme dans un sphérolite monominéral.

A cause de la structure fibroradiée, l'examen de l'enveloppe ne peut être complet qu'après l'étude d'une lame normale aux fibres. Une telle lame montre (fig. 2 B) en effet une disposition

fort différente. Les feldspaths forment un fond sur lequel se découpent les plages isolées de quartz, régulièrement réparties, avec des bords arrondis curieusement contournés. Cette forme évoque un jeu de patience dont on aurait ôté de-ci de-là un certain nombre d'éléments pour ne laisser en place que des individus dispersés et apparemment sans lien. Une telle structure, jointe au caractère anormal et poussiéreux des feldspaths, ne laisse pas d'évoquer certains aspects de la structure des charnockites. D'autre part, le tissu que forment les contours des aiguilles grossières de quartz et de feldspath fait penser à une sorte de « dentelle tuyautée » et traduit ainsi la multiplicité des individus cristallins et l'importance des surfaces interstitielles. Il est possible que ces surfaces, par leur orientation et leur grand développement, aient facilité des diffusions entre le noyau et la mésostase.

Le noyau, plus largement grenu, est essentiellement feldspathique. Il est composé de cristaux d'oligoclase An 20 dont les macles sont un peu mieux visibles que celles des feldspaths de l'écorce et qui renferment des inclusions de microcline, rares et floues comme des fantômes. Les plagioclases renferment en outre des poussières dont l'aspect est le même que celui des poussières incluses dans les feldspaths de l'écorce. La structure du noyau est d'aspect cataclastique : l'extinction est onduleuse par zones comme dans l'écorce. On note de petites quantités de muscovite, biotite, chlorite.

La discontinuité entre l'écorce et le noyau est soulignée par une couche extrêmement mince où sont concentrés de la muscovite, des poussières opaques et du quartz en petits grains dentelés.

3. *Orbicules à deux enveloppes.* Ce type d'orbicule est formé d'un noyau et de deux enveloppes. L'enveloppe externe, ou écorce, comprend elle-même deux parties : une zone interne relativement épaisse, essentiellement feldspathique, et une zone externe, mince et plus riche en biotite. Zones interne et externe de l'écorce ne sont normalement pas détachables l'une de l'autre, bien que la désagrégation d'origine atmosphérique tende à faire se desquamer la mince zone externe.

Ces deux zones, observables à l'œil nu, se retrouvent lors de l'étude micrographique. Une lame mince taillée radialement dans l'écorce montre (fig. 2 C) que cette différenciation en deux zones est due non seulement aux minéraux ferromagnésiens mais encore au quartz. Celui-ci, près de la périphérie, se présente en alignements dentelliformes de tailles diverses. Lorsque l'on se déplace vers l'intérieur, les plages les plus

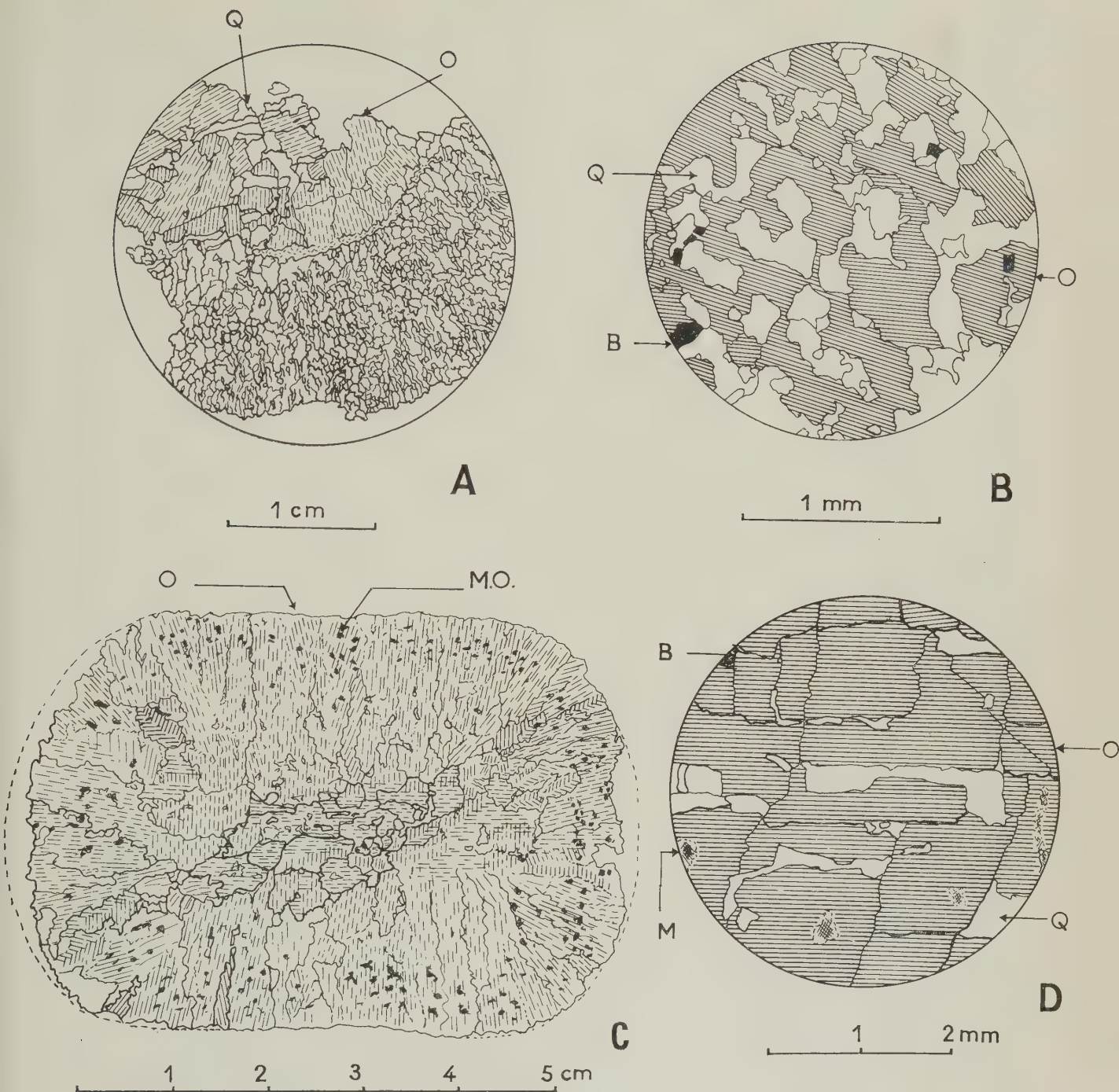


FIG. 2.

A et B : *Orbicule à enveloppe unique*. A : Coupe radiale montrant la structure grossièrement fibroradiée de l'enveloppe, la structure grenue du noyau et la mince zone de séparation. — B : Coupe transversale aux fibres montrant la structure du quartz en jeu de patience. — C et D : *Orbicule à deux enveloppes*. C : Coupe diamétrale montrant le noyau grenu et l'enveloppe interne fibroradiée. Noter la disposition radiaire ou « en épis »

des macles des plagioclases. L'enveloppe externe n'est pas représentée. — D : Détail de la figure C : partie centrale du noyau. Structure graphique, plages de quartz allongées parallèlement à l'aplatissement de l'orbicule.

B : biotite ; M : microcline ; M, O, ; minéraux opaques ; O : oligoclase ; Q : quartz.

petites se font plus rares et dans la zone interne le quartz ne se présente plus que sous l'aspect de baguettes grossièrement taillées. Les plagioclases sont sales et à macles de l'albite difficilement visibles ou même absentes, ce qui interdit leur détermination précise. Ainsi que le quartz, ils se présentent en baguettes à contours irréguliers, orientées radialement. La biotite, brun verdâtre sale, n'a pas d'orientation particulière, elle est simplement plus abondante vers l'extérieur. On note en outre quelques minéraux opaques. Comme précédemment les extinctions sont partout onduleuses.

L'écorce est facile à disjoindre de l'enveloppe interne grâce à un semis de petites paillettes de biotite disposées à plat dans la surface d'accolement. L'enveloppe interne elle-même est au contraire intimement soudée au noyau. Elle est composée de grandes lattes radiales d'oligoclase An 25, disloquées à extinction onduleuse, mais à macles assez bien visibles, et le plan d'association g^1 (010) de la macle de l'albite est en général en zone sur les rayons de l'orbicule. On trouve, en outre du quartz, des chlorites, des résidus rares de microcline et de la magnétite.

Le noyau est caractérisé par l'absence de la structure fibroradiée, mais l'extinction est, là encore, onduleuse. Les plagioclases sont cette fois en grandes plages subautomorphes, parfois zonées, à macles bien visibles et à résidus de microcline. Le quartz est en plages allongées parallèlement à l'aplatissement de l'orbicule. Les contours et la disposition de ces plages rappellent un peu ceux des pegmatites graphiques (fig. 2 D). Mais à la différence de celles-ci, il n'y a pas d'extinction commune à toutes les plages. La biotite, de couleur brun verdâtre à brun jaune clair, a une disposition vaguement annulaire à l'intérieur du noyau. Elle est accompagnée de quelques minéraux opaques.

En résumé, le granite orbiculaire de Tisselliline est formé par une mésostase granitique relativement riche en biotite et par des orbicules essentiellement feldspathiques (oligoclase). Les orbicules sont formés d'un noyau grenu entouré généralement d'une ou deux enveloppes fibroradiées. La concentration des éléments ferromagnésiens dans la mésostase, la localisation identique du microcline — retrouvé également à l'état de résidus dans les noyaux — la richesse générale en plagioclases, enfin la structure même des enveloppes évoquent un départ centrifuge des éléments ferromagnésiens et du potassium et corrélativement une migration centripète du

sodium. Les caractères microscopiques des enveloppes — anomalies et macles estompées des plagioclases — semblent témoigner que ces processus de migration à double sens se sont trouvés figés en cours d'évolution.

L'étude précédente, morphoscopique et pétrographique, n'est pas complète. Il faudrait en particulier, mais nous n'en avons pas eu le temps sur le terrain, compléter par une étude morphoscopique statistique, par la recherche d'une classification plus détaillée des différents types d'orbicules, éventuellement la mise en évidence parmi ceux-ci d'une série évolutive traduisant les différents stades de leur formation, la recherche d'orbicules à plus de deux enveloppes qui permettraient de préciser la loi de répartition des enveloppes, etc.

ANALYSES CHIMIQUES. — Trois analyses chimiques ont été réalisées, respectivement sur la mésostase, sur un orbicule et sur un échantillon de « granite rose grossier » choisi à proximité immédiate du gisement de roche orbiculaire. Il n'était pas possible de prélever un échantillon représentatif de l'ensemble de la roche orbiculaire car le poids moyen d'un orbicule étant de 1 kg, il aurait fallu qu'un tel échantillon pesât 100 kg, si l'on applique ici la règle dégagée par P. Laffitte [1957, p. 101-102] sur la validité des analyses chimiques des roches hétérogènes.

Il est néanmoins possible de calculer une composition chimique approchée de l'ensemble de la formation orbiculaire, à condition de connaître, outre la composition des orbicules et de leur ciment, le type d'arrangement géométrique des orbicules et par là, assimilant les orbicules à des sphères, le rapport volumétrique orbicule-ciment. On sait que, dans le cas de l'arrangement le plus compact, le volume interstitiel, dans un empilage de sphères de rayons égaux, représente près de 26 % du volume total. Il est peu probable que ce cas limite soit réalisé ici. Mais la juxtaposition des orbicules est cependant telle (fig. 1 B) que l'on peut estimer avoir affaire à un arrangement relativement dense. C'est pourquoi nous avons choisi 30 % comme rapport volumétrique, ce qui correspond au modèle d'arrangement triangulaire sphéroïdal imaginé par L. C. Graton et H. J. Fraser [1935].

Combinant alors les analyses (1) et (2) du ciment et de l'orbicule dans la proportion de 30 à 70 (on considère que les poids spécifiques respectifs sont les mêmes), on obtient la composition chimique moyenne de l'ensemble de la formation orbiculaire indiquée en (3) sur le tableau 1.

	(1)	(2)	(3)	(4)
SiO ₂	67,00	70,30	69,31	69,40
Al ₂ O ₃	18,55	17,70	17,96	16,70
Fe ₂ O ₃ ...	1,20	1,60	1,48	1,10
FeO.....	2,00	1,30	1,51	2,00
TiO ₂	0,30	0,10	0,16	0,30
P ₂ O ₅	0,15	0,10	0,12	0,15
CaO.....	3,00	3,00	3,00	2,20
MgO.....	0,55	0,20	0,31	0,55
Na ₂ O....	4,70	5,15	5,02	4,00
K ₂ O.....	1,95	0,60	1,01	2,65
H ₂ O.....	0,80	0,60	0,66	0,90
Total....	100,20	100,65	100,54	99,95
Paramètres :				
Lacroix :				
p.....	I (II)	I'	I'	I (II)
q.....	4	4	4	4
r.....	2 (3)	2 (3)	2 (3)	2
s.....	4	5	(4) 5	4
Niggli :				
si.....	286	326	314	330
al.....	47	49	48	46
fm.....	15	12	13	16
c.....	14	15	15	11
alc.....	25	25	25	27

TABL. 1. — Analyses chimiques.

(1) : analyse chimique du ciment ; (2) : analyse chimique de l'orbicule (type I) ; (3) : composition chimique calculée du granite orbiculaire ; (4) : analyse d'un échantillon de « granite rose grossier » prélevé à proximité du granite orbiculaire.

Lab. de Chimie de B. R. M. A., Alger, 1957.

Les analyses 1, 2, 3 et 4 correspondent toutes à des granites calco-alcalins sodiques de type akéritique. C'est pour l'orbicule (anal. 2) que le rapport r du nombre de molécules d'alcalis au nombre de molécules de chaux feldspathisable est le plus bas (1,745) sans atteindre toutefois la valeur limite 5/3 en dessous de laquelle il s'agirait d'une granodiorite.

Les analyses 3 et 4 se ressemblent de manière frappante, c'est-à-dire que la formation orbiculaire n'est pas différenciée par rapport à son milieu pétrographique le plus proche. A noter seulement comme écart relatif un léger déficit en titane pour la roche orbiculaire, et pour le granite un léger excès en potassium (rapport moléculaire K₂O/Na₂O = 0,44 contre 0,14).

La comparaison avec les analyses — citées par M. Bouvet et C. Reboul [1961] — des différents faciès granitiques du massif de Tisselliline est plus intéressante. Elle fait ressortir clairement : pour l'alumine un accroissement depuis des teneurs qui n'excédaient pas 16,2 % dans le reste du massif jusqu'à une teneur de près de 18 % dans la formation orbiculaire ; pour la chaux un accroissement depuis des teneurs qui n'atteignaient 2,5 % que dans le faciès porphy-

roïde — exceptionnellement calcique — jusqu'à 3 % dans le granite orbiculaire ; de même la soude passe d'environ 3,5 à 5 %. On retrouve ici la richesse relative en Al₂O₃, CaO, et Na₂O caractéristique des granites orbiculaires depuis l'étude classique de Sederholm [1928]. Il est à noter en outre que le granite encaissant proche de la formation orbiculaire se comporte, au point de vue des teneurs en les mêmes éléments, comme intermédiaire entre la roche orbiculaire et le reste du massif de Tisselliline. Il n'y a donc pas ici de discontinuité fondamentale et le contact brutal observé sur le terrain entre le granite orbiculaire et le granite rose grossier ne doit pas faire illusion. L'observation d'orbicules isolés nous en avait d'ailleurs déjà prévenu : le granite orbiculaire représente une simple variation de faciès du granite à gros grain de la périphérie du massif de Tisselliline.

Il s'agit donc d'un faciès de bordure, comme la plupart des granites orbiculaires décrits dans d'autres pays. Cependant, alors que le plus grand nombre de ces roches est associé, selon Eskola [1938], au voisinage des fronts de migmatites, le granite orbiculaire de Tisselliline est en rapport avec un massif granitique circonscrit typique.

On peut en conclure que la condition géologique nécessaire à l'apparition d'un granite orbiculaire est la proximité d'un front de transformation ; que celui-ci soit de granitisation ou de migmatisation n'est pas déterminant. La condition n'est évidemment pas suffisante puisque les granites orbiculaires sont des raretés, même au voisinage de tels fronts. N'est pas déterminante non plus la composition chimique, puisque la structure orbiculaire n'est pas l'apanage de la famille des granites : on la trouve aussi bien chez les diorites ou les gabbros.

D'autre part on peut estimer que se sont trouvées réunies les mêmes conditions pour donner les granites orbiculaires classiques près des fronts de migmatites et pour donner le granite orbiculaire de Tisselliline associé à un massif circonscrit, à moins d'un phénomène de convergence, fort peu probable vu la rareté des faciès orbiculaires. En d'autres termes, il n'y aurait pas de différence fondamentale entre un front de migmatites et la bordure du massif circonscrit de Tisselliline. Ceci suggère que la genèse de certains granites en massifs circonscrits a pu comporter une phase analogue à une migmatisation.

ESSAI D'INTERPRÉTATION GÉNÉTIQUE ET HYPOTHÈSE. — Une théorie de la formation d'une roche orbiculaire doit rendre compte en général de

trois observations essentielles : l'une, l'étendue réduite couverte par le faciès orbiculaire, est relative au gisement ; les deux autres sont relatives à la structure, ce sont la cristallisation en zones alternées et la disposition fibroradiée. La rareté de ces roches ainsi que l'étendue réduite de leurs gisements impliquent des conditions de formation particulièrement restrictives. D'autre part, la cristallisation en zones alternées a suggéré depuis longtemps à J. J. Sederholm, comme on le sait, une comparaison avec les anneaux de Liesegang. Or W. Eitel [1954, p. 453] fait remarquer que la théorie de W. Ostwald ou théorie de l'interférence des diffusions est celle qui explique le mieux les structures alternées et en particulier que ce serait sans doute la théorie s'appliquant le mieux aux structures orbiculaires dans les roches ignées. Voyons ce qu'il en est dans le cas présent. L'étude pétrographique et chimique nous a montré précisément l'existence d'une diffusion à double sens : migration de K, Fe, Mg vers la mésostase, migration de Na vers les noyaux. Si l'on compare avec les anneaux de Liesegang, les éléments à diffusion centrifuge K, Fe, Mg ont joué le rôle du réactif incorporé ($\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2$), tandis que les éléments à diffusion centripète Al, Ca et Na tenaient celui de NO_3Ag . Rien d'étonnant alors à ce que l'on ait alternance de zones à biotite et de zones principalement feldspathiques. Quant au support représenté par la gélatine dans l'expérience de Liesegang, il était sans doute représenté ici par les tétraèdres SiO_2 .

D'autre part, S. Veil [1947], renouvelant l'expérience de Liesegang en la modifiant quelque peu, a montré qu'une teneur basse en électrolyte incorporé jouait dans le sens d'un desserrement des anneaux. On peut donc estimer que le granite orbiculaire de Tisselliline, à anneaux larges et peu nombreux, s'est développé en prenant la place d'une roche pauvre en éléments ferromagnésiens. De même, si une étude plus approfondie de ce gîte permettait de trouver des xénolites dans les noyaux des orbicules, ces xénolites devraient normalement être eux-mêmes pauvres en Fe et Mg ; à moins que le granite orbiculaire n'ait évolué à partir du « granite rose grossier », auquel cas la roche préexistante aurait bien été effectivement pauvre en éléments ferromagnésiens.

Reste à expliquer que les phénomènes de double diffusion évoqués plus haut aient été

polarisés par le centre des orbicules au lieu de s'effectuer, comme ils auraient dû normalement le faire, en direction du front de granitisation. La cause est probablement la même que celle qui a donné lieu à la disposition fibroradiée.

Le problème que pose l'existence d'une telle structure fibroradiée se rattache à celui, plus général, des croissances arborescentes de minéraux. C'est là un problème que les minéralogistes considèrent comme particulièrement difficile, peut-être même, selon H. E. Buckley [1951, p. 495], « the most elusive of crystal-growth problems ». Mais si le mécanisme de la cristallisation dendritique est mal connu, on connaît un certain nombre de causes susceptibles de le déclencher. Parmi ces facteurs, il en est un qui paraît tout spécialement variable à l'intérieur d'un même massif granitique : c'est la présence d'impuretés. A titre de comparaison, qu'il nous suffise, pour souligner le rôle des impuretés dans le faciès cristallin, de rappeler la sensibilité extraordinaire du ClO_4K à la présence de certains colorants. D'après H. E. Buckley [1951, p. 488], il suffit de 0,05 à 0,5 mg d'un colorant tel que le jaune indien par gramme de ClO_4K pour provoquer la cristallisation dendritique de ce dernier dont la forme normale est celle de la barytine.

Une étude spectrographique reste à faire pour confirmer ou infirmer cette hypothèse, c'est-à-dire pour déterminer le rôle éventuel qu'ont pu jouer des éléments en traces dans la genèse du granite orbiculaire de Tisselliline. Une telle étude consisterait d'abord en une recherche des éléments en traces présents dans les orbicules et ne se retrouvant pas dans le granite à faciès normal. La roche-mère de tels éléments devrait ensuite être recherchée dans le Dj. Ounane, dont les directions de couches sont recoupées par le contact du massif circonscrit. Ainsi pourrait s'expliquer la localisation si restreinte du faciès orbiculaire à l'intérieur du massif.

Les conditions d'affleurements de la région de Tisselliline-Dj. Ounane sont si exceptionnellement favorables qu'une telle étude, si elle était entreprise, permettrait sans aucun doute de déterminer la validité de l'hypothèse que nous proposons.

Enfin il serait aussi d'un grand intérêt d'effectuer systématiquement la recherche des éléments en traces sur les roches orbiculaires déjà décrites de par le monde.

Bibliographie.

- AGARD D. (1957). — Découverte d'une diorite orbiculaire dans les terrains précambriens de la région de Taïfst (Anti-Atlas). *Notes Serv. géol. Maroc*, t. VI (*Notes et Mém.*, n° 95), p. 161.
- AMSTUTZ G. C. (1957). — Apuntes sobre el granito orbicular cerca de Huaraz, Ancash. *Bol. Soc. geol. Peru*, t. 32, p. 21-23.
- BOUVET M. et REBOUL C. (1961). — Un massif granitique à structures concentriques : le Tisselliline. *B. S. G. F.*, (7), III, p. 171-173.
- BUCKLEY H. E. (1951). — Crystal growth. New-York, J. Wiley et sons, 571 p.
- CHENEVOY M. (1958). — Contribution à l'étude des schistes cristallins de la partie nord-ouest du Massif central français. *Mém. Expl. Carte géol. dét. France*, 428 p.
- CONYBEARE C. E. B. (1951). — An occurrence of orbicular structure of metasomatic origin, in the Gold Coast. *Geol. Mag.*, vol. LXXXVIII, n° 2, p. 141-147.
- EITEL W. (1954). — The physical chemistry of the silicates. Chicago, Univ. of Chicago Press, 1592 p.
- ESKOLA P. (1938). — On the esboitic crystallisation of orbicular rocks. *Journ. Geol.*, vol. XLVI, p. 448-486.
- GOODSPEED G. E. (1942). — Orbicular rock from Buffalo Hump, Idaho. *Amer. Miner.*, vol. 27, p. 37-47.
- GRATON L. C. et FRASER H. J. (1935). — Systematic packing of spheres, with particular relation to porosity and permeability. *Journ. Geol.*, vol. XLIII, n° 8, p. 785-909.
- GROLIER J. (1955). — Étude géologique de l'extrémité occidentale du plateau de Guéret et de la chaîne de la Marche. Dipl. Géologue-pétrographe. Fac. Sc. Clermont-Ferrand (polycopié).
- LAFFITTE P. (1957). — Introduction à l'étude des roches métamorphiques et des gisements métallifères. Paris, Masson, 343 p.
- LEVESON D. L. (1959). — Orbicular rocks of the Lonesome Mountain area, Beartooth Mountains, Montana and Wyoming. *Bull. geol. Soc. Amer.*, vol. 70, p. 1637-1638.
- MAISONNEUVE J. (1960). — Étude géologique sur le Sud de la Corse. *Bull. Serv. Carte géol. France*, t. LVII, n° 260.
- MIKAMI K. et ISHIKAWA H. (1956). — An orbiculite from the Tanwaza massif, Centr. Japan. *Sc. Rep. Yokohama nat. Univ.*, sect. II, n° 5, p. 63-76.
- OKA N. et ISHIKAWA H. (1959). — Les roches orbiculaires de Takakuwa, péninsule d'Osumi. *Journ. Jap. Ass. Miner. Petrol., econ. Geol.*, vol. 43, n° 2, p. 98-106 (en japonais).
- OKTA Y. (1958). — Diorite orbiculaire des blocs glaciaires de Tatéyamagawa, département Toyama (en japonais). *Journ. geol. Soc. Japan*, vol. 64, n° 758, p. 618-620.
- QUARTINO B. J. et VILLAT FABRE J. F. (1960). — Precambrian orbicular rock from Sierra de Velazco, Province of la Rioja, Argentine Republic. *XXIth intern. geol. Congr. Norden, Abstracts*, p. 136.
- RAGUIN E. (1957). — Géologie du Granite. Paris, Masson, 275 p.
- REBOUL C., BOUVET M., DAMAY J. et GROLIER J. (1957). — Rapport de fin de mission : Hoggar, 1956-57. Alger, B. R. M. A. (polycopié).
- SEDERHOLM J. J. (1928). — On orbicular granites, spotted and nodular granites etc. and on the Rapakivi texture. *Bull. Comm. géol. Finlande*, n° 83.
- SHIMAZU M. (1956). — La diorite orbiculaire d'Akka nord des montagnes de Kitakami. *Journ. Jap. Ass. Miner., Petrol., econ. Geol.*, vol. 40, n° 3, p. 115-126.
- TEIXEIRA C. et AVILA MARTINS J. (1958). — O granito orbicular de Midões (Oliveira de Hospital). *Univ. Lisboa Rev. Fac. Ci.*, t. 6, p. 31-38.
- TEIXEIRA C. et BOTO R. (1959). — Granito orbicular de Lamas de Mauro Melgaço. *Ibid.*, t. 7, p. 5-12.
- TERMIER H. et G. (1956). — L'évolution de la lithosphère. I : Pétrogénèse. Paris, Masson, 653 p.
- VEIL S. (1947). — Sur les anneaux de Liesegang, obtenus sous gradient de concentration du réactif incorporé. *C. R. Ac. Sc.*, t. 224, p. 1771-1773.

Sur les massifs rhyolitiques pharusiens de la région d'Edembo-Emi Lulu (Ahaggar oriental)

par Bernard GUÉRANGÉ*.

Sommaire. — Dans la région d'Edembo-Emi Lulu, il existe de nombreux massifs rhyolitiques. Des granites affleurent au cœur des massifs, ou les entourent. Des microgranites et des ortho-leptynites s'interposent entre les granites et les rhyolites. Le problème des relations entre ces roches se pose.

Il apparaît, à l'observation de terrain, que la granitisation, dans tous les cas, est postérieure à l'épisode volcanique.

La région d'Edembo-Emi Lulu forme l'avant-pays cristallin des Tassilis internes orientaux au SSE du village de Djanet. Les formations qui y affleurent sont attribuées au Pharusien du bassin de Djanet. Le long de la discordance tassilienne notamment, depuis l'Adrar Edembo proprement dit jusqu'à la frontière du Niger, il s'agit de puissantes assises rhyolitiques, généralement disposées en massifs complexes¹, plus rarement interstratifiées au sein d'une série composée de pélites, quartzites fins localement conglomératiques et calcaires. Le métamorphisme général de ces séries est faible. La granitisation est généralement bien développée. Ces formations, dans leur ensemble, sont comparables aux séries peu évoluées de la région du Tafassasset moyen qui constituent, plus à l'Ouest, la bordure occidentale du bassin pharusien de Djanet².

Les rhyolites donnent des reliefs massifs, souvent tabulaires, au sommet desquels subsistent des témoins gréseux des Tassilis discordants. Les conditions de gisement n'ont pu être partout établies, mais on observe souvent de belles coulées prismées. Les rhyolites, rouge sombre ou gris clair, plus ou moins riches en phénocristaux de quartz et de feldspath, peuvent être compactes ou nettement fluidales. On note la présence de brèches rhyolitiques au sein des coulées. Des niveaux de tufs s'intercalent entre les coulées. Celles-ci renferment localement des « nodules » rhyolitiques grossièrement sphériques, d'un diamètre de l'ordre de 10 cm, qui montrent au centre un noyau également rhyolitique aux formes anguleuses. On note parfois un vague enroulement de la lave du nodule autour du

noyau. Il s'agit là, semble-t-il, de projections rhyolitiques reprises dans la coulée. Les coulées ne sont pas toujours horizontales, elles peuvent plonger de plus de 50° dans certains massifs. Des rhyolites et des microgranites se présentent également en gros filons, ou en cheminées, qui recoupent l'ensemble des formations.

Les rhyolites sont affectées par le métamorphisme général. Elles montrent au microscope un fond généralement dévitrifié à résidus microliques : la pâte est crypto-cristalline ou finement cristallisée, localement à structure micropegmatitique. Une recristallisation plus avancée se traduit par le développement d'éléments quartzeux et feldspathiques qui sont groupés en amandes ou îlots à structure granoblastique. On y observe plus ou moins de phénocristaux selon les échantillons examinés : quartz corrodé à extinction roulante, microcline perthitique.

Les granites en contact avec les différentes formations volcaniques sont nombreux. Ils reprennent les rhyolites, et la granitisation revêt, selon les massifs, des aspects variés. Selon les cas, la rhyolite, peu transformée, est directement en contact avec le granite, ou bien une zone de microgranite ou d'ortho-leptynite s'intercale.

Ainsi, on observe fréquemment une transformation de la lave d'autant plus poussée que l'on

* Note présentée à la séance du 24 avril 1961.

1. J. Blaise a étudié certains de ces massifs, lors d'une reconnaissance géologique en 1957.

2. GUÉRANGÉ B. et VIALON P. (1960) : Le Pharusien du bassin de Djanet dans la région du Tafassasset moyen (Ahaggar oriental-Sahara central). *C. R. somm. S. G. F.*, p. 56.

se rapproche du granite : la rhyolite passe progressivement au microgranite. Le passage du microgranite au granite apparaît, selon les points d'observation, brutal ou progressif. Il serait tentant ici d'établir une unité génétique entre ces différentes roches. Mais le gisement initial en coulées se reconnaît parfois dans la rhyolite recristallisée à tendance microgranitique (stratification et fruste débit prismatique subsistants, présence des « nodules » sphériques conservés, mais où le noyau complètement détruit par la recristallisation ne se distingue plus). Il semble donc légitime de penser qu'il s'agit là d'une granitisation postérieure à l'épisode volcanique.

Ailleurs, la rhyolite passe assez brutalement,

semble-t-il, à une ortholeptynite puis au granite. La transformation s'effectue ici latéralement, au sein d'une même coulée redressée.

Enfin, au contact de granites aux caractères intrusifs bien marqués, qui développent un métamorphisme de contact, la rhyolite se transforme en métarhyolite.

L'étude des formations rhyolitiques en partie granitisées de la région d'Edembo-Emi Lulu, fut entreprise dans le cadre d'une étude géologique régionale. Elle n'est pas assez avancée actuellement pour permettre de résoudre le problème des relations entre les différentes roches qui composent les massifs. Cette étude mérite d'être approfondie plus avant.

Sur la stratigraphie des séries antécambriennes dans la région du Tafassasset moyen (Ahaggar oriental)

par Jacques BLAISE*.

Sommaire. — Une coupure stratigraphique importante se remarque dans les zones antécambriennes de la région du Tafassasset moyen. L'auteur discute ici la signification et l'extension géographique de cette coupure locale et sa position par rapport aux autres coupures stratigraphiques des séries antécambriennes de l'Ahaggar.

Dans la région du Tafassasset moyen, une fracture méridienne suivant le 8°30' E sépare deux zones structurales différentes. La zone occidentale paraît dans son ensemble attribuable au Suggarien. Dans la zone orientale, j'avais observé, dans la région d'Arirer, la nette discordance de séries d'arkoses et de conglomérats sur des granites et des séries métamorphiques. Je proposais d'appeler le terme postérieur à cette discordance « série de Tiririne », série que je comparais au Nigritien, tandis que j'attribuais la série antérieure au Pharusien¹.

Plus tard, B. Guérangé et P. Vialon² ont proposé une nouvelle interprétation de cette région, interprétation que je me propose de discuter ici.

Dans le Sud du domaine oriental, aux abords de l'Erg Kilian, je pensais que les arkoses, sub-horizontales, reposaient en discordance sur les granites. B. Guérangé et P. Vialon ont montré que ces granites, en réalité, métamorphisent les séries détritiques. Je n'avais signalé une telle disposition que très localement, plus au Nord, près de Tiririne³. C'est donc en fait dans tout le domaine oriental que celle-ci se retrouve.

D'autre part, aux abords de la zone mylonitique qui borde la fracture du 8°30' E, ces auteurs ont signalé de remarquables transformations métamorphiques des conglomérats, observation que je n'avais pas eu l'occasion de faire.

Mais par ailleurs, ils contestent l'existence d'une coupure stratigraphique postsuggarienne à l'intérieur de la zone orientale. Ils considèrent en effet celle-ci comme formée essentiellement par une série unique, d'âge pharusien, qui aurait subi, d'Ouest en Est, « des transformations tectoniques et métamorphiques progressivement

plus poussées ». Ils attribuent au Suggarien, et non plus au Pharusien, les terrains sur lesquels les arkoses d'Arirer sont discordantes ; ces séries suggariennes formeraient, en plein pays pharusien, un « horst » limité par des failles et des zones granitisées ; de ce fait, la discordance d'Arirer se trouve assimilée à la discordance de base du Pharusien sur les gneiss suggariens.

Or l'existence du « horst » d'Arirer me paraît imparfaitement démontrée pour les raisons suivantes :

1) Il n'apparaît pas de discontinuité entre les séries qui sont situées de part et d'autre des bordures supposées de ce « horst », dans les secteurs où ces bordures ne sont pas oblitérées par des granites. Au Sud par exemple, de part et d'autre de la faille qui limiterait le « horst », entre le 8°30' E et le 8°35' E, on retrouve les mêmes formations ; celles-ci sont principalement volcaniques, avec des intercalations de bancs de micaschistes ; elles ont la même direction tectonique de part et d'autre de la faille, mais, au Sud de celle-ci, elles sont décrochées vers l'Est d'environ un kilomètre.

2) Il est difficile de distinguer les séries attribuées au « horst » suggarien et les formations pharusiennes qui leur feraient suite au Nord et

*. Note présentée à la séance du 24 avril 1961.

1. BLAISE J. (1956) : Sur la présence d'une série de type nigritien dans l'Antécambrien de l'Ahaggar oriental (Sahara central) : la série de Tiririne. *C. R. Ac. Sc.*, t. 243, p. 1225.

2. GUÉRANGÉ B. et VIALON P. (1960) : Le Pharusien du bassin de Djanet dans la région du Tafassasset moyen (Ahaggar oriental, Sahara central). *C. R. somm. S. G. F.*, p. 57.

3. BLAISE J. (1958) : Une « série intermédiaire » au Sahara central : la série de Tiririne (Ahaggar oriental). In Les relations entre Précambrien et Cambrien. Problèmes des séries intermédiaires. *Coll. intern. C. N. R. S.*, n° LXXXVI, p. 217.

au Sud. Ces trois domaines sont essentiellement constitués par des séries volcaniques principalement basiques, qui forment de grands ensembles homogènes ou des zones plus finement stratifiées avec des intercalations de faciès détritiques. Les laves et les micaschistes y montrent le plus souvent les mêmes types de métamorphisme⁴. Enfin, toutes ces séries dessinent des plis isoclinaux de style identique, les directions de ces plis différant souvent de part et d'autre des nombreuses failles qui hachent ce secteur.

3) Les séries attribuées au « horst » suggarien et les formations suggariennes que l'on trouve à l'Ouest de la faille du 8° 30' E ne se ressemblent, à mon avis, ni par leurs caractères lithologiques, ni par leur métamorphisme. Le socle suggarien situé à l'Ouest rappelle beaucoup les séries suggariennes classiques. On n'y retrouve pas l'important volcanisme qui caractérise le « horst » supposé. En outre, à l'inverse de celui-ci, il montre un métamorphisme profond et assez uniforme. Enfin, le fait que le métamorphisme du « horst » présente une histoire complexe ne me paraît pas un argument suffisant pour attribuer à celui-ci un âge suggarien.

En résumé, je suis conduit à contester, d'une part la valeur des limites qui ont été proposées pour le « horst », d'autre part la distinction faite entre les formations qui l'entourent et celles qui le composent, enfin l'attribution de ces dernières au Suggarien. La notion du « horst » suggarien en pays pharusien ne paraît donc pas s'imposer.

Mais, pour interpréter correctement toute cette région, il faut aussi tenir compte du fait, qu'au Nord et au Sud de la discordance d'Arirer reconnue par tous, il existe des discontinuités lithologiques entre séries d'arkoses à l'Ouest, et séries volcaniques métamorphiques à l'Est. Au Sud, dans les chaînes de Toufok, une discordance cartographique marque une telle discontinuité.

Précisant mon point de vue antérieur, je propose donc l'interprétation suivante des séries situées à l'Est de la grande fracture du 8° 30' E.

1) Dans la partie occidentale de cette zone, une formation détritique (série de Tiririne) est placée *stratigraphiquement* au-dessus d'un complexe volcanique (série d'Ekendouker) affleurant plus à l'Est; la série détritique comporte quelques intercalations de laves et est à peine métamorphique; la série volcanique contient également quelques formations détritiques mais elle est, dans son ensemble, plus métamorphique; les deux séries sont traversées par des granites. Au

point de vue *tectonique*, il existe trois domaines différents :

— au N du massif d'Arirer, les plis isoclinaux de la formation détritique s'harmonisent avec ceux du complexe volcanique sans qu'apparaisse entre eux de discordance angulaire;

— du massif d'Arirer au Nord, jusqu'à l'Erg Kilian au Sud, la formation détritique est peu plissée et repose en discordance angulaire sur le complexe volcanique très plissé;

— au S de l'Erg Kilian, la série détritique, subhorizontale, riche en sills volcaniques, semble seule avoir été identifiée jusqu'aux Tassilis du Tafassasset, à l'Est.

2) Dans la partie orientale de la zone considérée, le complexe volcanique est suivi, vers l'Est, de formations où les faciès détritiques deviennent prépondérants; à côté de quartzites noirs, très caractéristiques de ce secteur, on y remarque des arkoses et des conglomérats rappelant ceux de la série de Tiririne, en particulier au Nord, dans l'Amamouken. Aucune discontinuité lithologique ni tectonique n'a été observée entre la série volcanique et ces formations plus détritiques, ni au sein de ces dernières. Il paraît donc difficile pour l'instant de savoir si l'on retrouve ou non, dans cette région, des équivalents stratigraphiques latéraux de la série de Tiririne.

Si l'on peut ainsi poser les bases d'une stratigraphie locale dans cette région, il ne semble cependant pas facile d'établir de relation entre ces séries et celles des divers bassins pharusiens de l'Aghaggar oriental. Ceux-ci paraissent en effet différer profondément les uns des autres par l'extension, la stratigraphie, la lithologie et le métamorphisme des séries qui les composent. De même, malgré certaines analogies, il est sans doute prématuré de vouloir paralléliser, comme je l'avais proposé antérieurement, la coupure stratigraphique qui sépare la série de Tiririne et celle d'Ekendouker avec la discordance du Nigritien sur le Pharusien *stricto sensu*.

Finalement, nous reprendrions volontiers le terme de Pharusien *lato sensu* comme désignant l'ensemble des séries postérieures au Suggarien et antérieures aux grès des Tassilis. On peut alors s'en tenir à l'attribution à ce Pharusien *lato sensu* de toutes les séries de la région du Tafassasset moyen situées à l'Est de la fracture du 8° 30' E.

4. Cependant, certains faciès de gneiss à biotite n'ont été observés que dans le « horst ».

Sur la structure de la région d'Akjoujt (Mauritanie)

par Jean-Paul DESTOMBES et Jean-Paul SPINDLER*.

Sommaire. — L'attribution au Cambro-Ordovicien de la série d'Akjoujt est confirmée. Elle est peu épaisse et subautochtone.

Sa composition diffère de celle de la série péliito-gréseuse qui lui correspond immédiatement à l'Est (Iriji), d'une part par la présence de chloritoschistes, de « carbonatites » et de roches vertes bien développées surtout dans son centre, et d'autre part par sa grande épaisseur.

Son aspect actuel, en synclinal d'une puissance apparente considérable, est dû à l'existence de plis couchés isoclinaux et plus ou moins écaillés, à pentes faibles ou moyennes vers le centre (Akjoujt). Les poussées apparentes, centrifuges, peuvent être attribuées à la gravité lors du relèvement orogénique vertical de l'axe du bassin, de direction ESE, comme paraît l'être l'axe de subsidence. Ce dispositif est comparable à celui des régions méridionales étudiées par nos prédécesseurs et confirme l'opposition, déjà soulignée par eux, avec la structure beaucoup plus calme des séries orientales de l'Adrar, contemporaines. L'âge de ces plissements, en raison de l'absence de formations vraisemblablement post-ordoviciennes impliquées dans les plissements et l'existence d'une activité d'apparence volcanique qui les précède, pourrait être calédonien.

La morphologie d'apparence très vive et substructurale des collines environnant Akjoujt, par opposition à celles des rags centraux où affleure le socle, peut s'expliquer par un enfouissement précoce en un profond graben de toute la série plissée dès l'orogénèse principale, le rajeunissement étant relativement récent.

Introduction.

Depuis la thèse de A. Blanchot [1955] sur le Précambrien de Mauritanie occidentale et la découverte qu'il fit, en compagnie de G. Arnaud, de minéralisations cuprifères aux environs d'Akjoujt, de nombreuses études de détail par levés géologiques, sondages et travaux miniers avaient révélé la complexité structurale de la série d'Akjoujt. D'abord attribuée au Précambrien (par A. Blanchot) puis, récemment au Cambro-Ordovicien [Bassot et Delpy, 1960], sa composition très particulière, avec ses roches vertes, ses « carbonatites »¹, le granite d'Aguel Sidi et ses différentes minéralisations en fer, cuivre et tungstène [Vincienne, 1958], comparée à la composition des séries essentiellement gréseuses et monotones du même âge de l'Adrar, à quelques dizaines de kilomètres à l'Est, posait de nombreux problèmes.

L'existence d'une carte d'affleurements au 200 000^e établie par l'un de nous (J.-P. Spindler, 1957), de bonnes photographies aériennes de l'Institut géographique national et de fonds restitués au 50 000^e pour les besoins de la géologie minière a incité la direction du B. R. G. M.,

à tenter de lever une hypothèque structurale qui pesait à l'échelle régionale sur la recherche minière.

Une liaison suggérée par A. Blanchot paraissait bien exister, en effet, entre les différentes minéralisations et le granite d'Aguel Sidi. Mais la présence, par ailleurs, de « carbonatites » liées à des roches vertes vers la base de la série et constituant le magasin essentiel de ces minéralisations, pouvait difficilement être expliquée par la proximité de ce même granite. Les problèmes paraissaient donc devoir être réétudiés non plus en eux-mêmes, mais dans le contexte d'un dispositif structural rétablissant les liaisons précoces des différentes unités lithologiques, et par conséquent en faisant la part des grands accidents tectoniques.

Le schéma structural que nous proposons sur la carte de la fig. 1, en anticlinaux déversés et

* Bureau de recherches géologiques et minières (B. R. G. M.), Paris. Note présentée à la séance du 15 mai 1961.

1. Carbonates complexes de la famille sidéroses-magnésites, sans rapport de gisements ni de composition avec les véritables carbonatites.

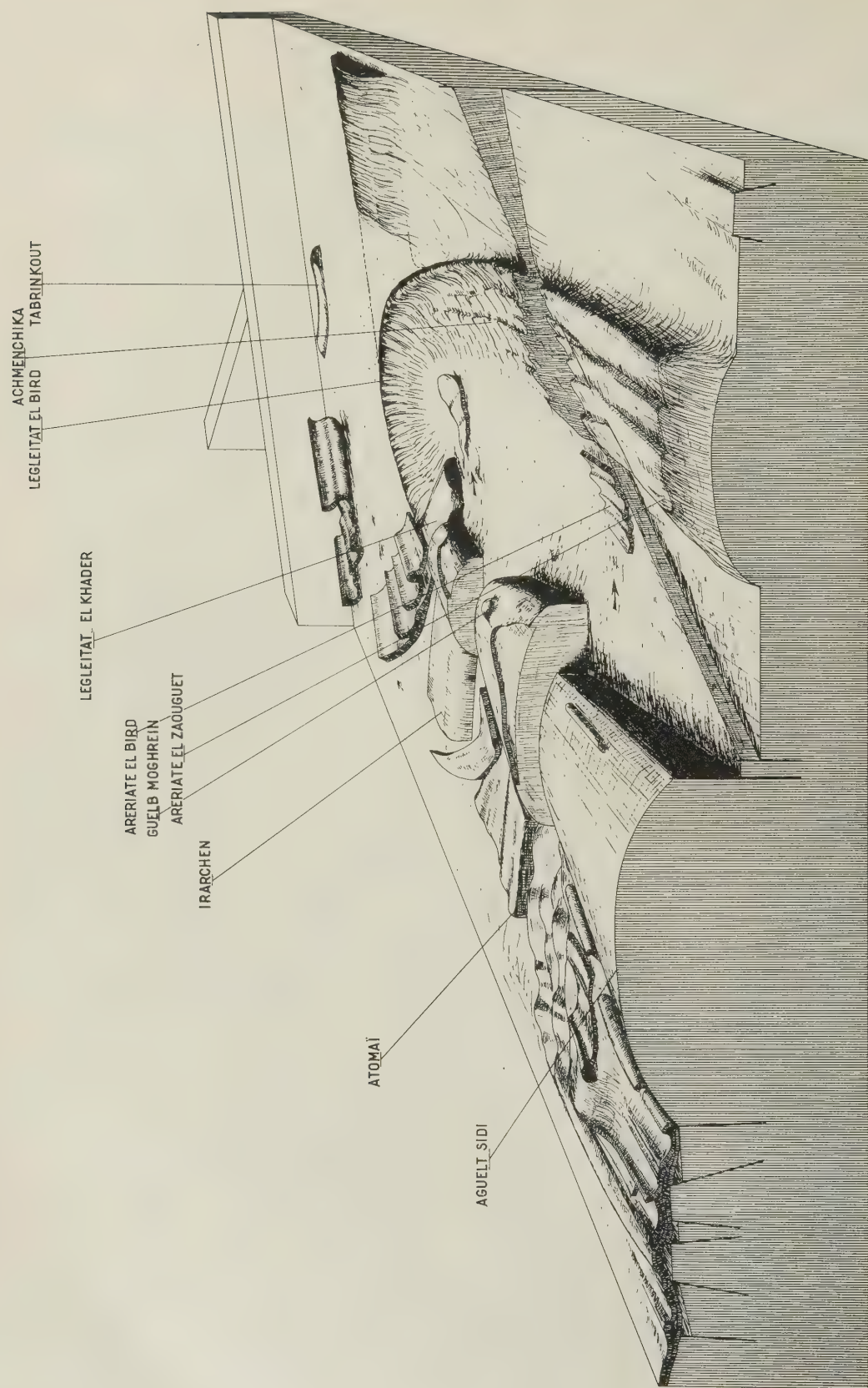


Fig. 2. — Bloc-diagramme structural de la région d'Akjoujt.

poussés vers le Nord et le Nord-Est, paraît rendre compte des épaisseurs considérables des séries monoclinales subconcordantes qu'on recoupe en traversées radiales partant d'Akjoujt dans ces directions (N et NE). Les grands espaces de rag qui se développent au S d'Akjoujt jusqu'aux chaînons méridionaux, quasi symétriques de ceux du Nord bien que moins déversés vers le Sud, peuvent avoir eu le même style. Enfin n'ayant pas étudié en détail les roches granitiques et gneissiques occidentales et leurs contacts généralement mylonitisés avec la série d'Akjoujt, nous ne prendrons pas position sur l'âge de ce granite par rapport à celui de cette série. Il nous est apparu cependant que la zone axiale occidentale et centrale, où affleure ce granite, a fonctionné, lors de l'orogénèse, comme un horst, et cette considération replace ici le granite d'Aguelt Sidi comme antétectonique. Sa passivité lors de l'orogénèse suggère qu'il pourrait ainsi être d'âge précambrien ; comme les granites de même composition recoupant le socle de l'Amsaga.

Cependant des observations troublantes, no-

tamment sur le haut degré de métamorphisme de calcaires situés à la base de la série d'Akjoujt et sur l'épi-métamorphisme du reste de la série, peuvent faire douter de cette attribution simpliste. Une autre hypothèse, telle que celle d'un métamorphisme de fosse, de type pyrénéen (métamorphisme d'âge secondaire pyrénéen) pourrait rendre compte de ce métamorphisme localement très poussé de certaines roches de la série d'Akjoujt.

Le plan suivi sera le plus classique avec l'étude stratigraphique puis tectonique de la série. Ces études seront suivies de considérations annexes sur les « carbonatites » et les roches vertes. Enfin quelques idées sur les relations de ces différentes roches entre elles et notamment sur les conditions de gisement des « carbonatites » seront exposées et pourront constituer une hypothèse de travail pour des recherches futures.

Nous remercions nos camarades du B. R. G. M. à Dakar pour l'aide et les conseils qu'ils nous ont apportés dans cette étude : A. Blanchot, J. Barrière, J. Delpy, R. Trompette.

I. Composition stratigraphique de la série d'Akjoujt.

Nos confrères J.-P. Bassot et J. Delpy [1960] ont prouvé, par l'existence d'un mur calcaire commun aux deux séries, que la base de la série d'Akjoujt et celle d'Iriji étaient contemporaines. L'un de nous (J.-P. Destombes) a pu contrôler, sur plusieurs itinéraires, en compagnie de J. Barrière et de J. Delpy, le bien-fondé de ces conclusions. Le même parallélisme paraît exister, depuis le Sénégal au Sud, entre les séries plissées et métamorphiques et souvent volcaniques des régions occidentales situées au méridien d'Akjoujt (séries de Bakel, Tagant notamment), antérieurement attribuées au Précambrien, et les séries subhorizontales non métamorphiques de l'Adrar d'âge cambro-ordovicien [Bense et Delpy, 1958 ; Delpy, 1959 ; Bense, 1959 ; Bassot et Delpy, 1960].

Cependant, il n'existe pas, à notre connaissance, de coupe complète de la série d'Akjoujt montrant la superposition normale des différents faciès de la série considérée au socle de l'Amsaga (Précambrien). Ceci est dû au fait, souligné par nos confrères Tessier, Dars et Sougy [1961], que des contacts anormaux existent entre la base calcaire et conglomératique de la série, généralement « accrochée au socle », et les roches vertes, les schistes verts et argentés et les quar-

tzites ferrugineux de la partie supérieure de la même série.

La séquence normale donnée en grande partie par nos prédécesseurs, et qui se révèle exacte malgré les contacts anormaux, est la suivante dans la région centrale et orientale :

En discordance sur le Précambrien redressé, on trouve sur le flanc nord du « synclinal » d'Akjoujt (Afogjane-Irarchen-Atomai) :

- a) *conglomérat peu épais* à éléments roulés de quartz, jaspes rouges et roches précambriennes (Irarchen) ;
- b) *pêlites bigarrées* à la base, finement litées et à cassures souvent conchoïdales, devenant rouges et psammiques vers le sommet ; épaisseur non inférieure à 50 m aux sondages de Kempsehe [Renaud, 1956] ; et *quartzites blancs* (Kh. el Khadra, Choueikaniat, rive droite de l'Oued Tertiat), souvent épidotitisés ;
- c) *calcaires* en 3 bancs (Atomai), peu épais, séparés par des schistes fins, fissiles, vert d'eau ou bleuâtre (Afogjane-Tabrinkout) ; épaisseur totale : 10 à 15 m ; les calcaires de la partie moyenne contiennent des oolithes [Delpy, 1959] plus ou moins bien préservées et, à l'Est (Iriji), les oolithes sont préservées dans des silex ; ces calcaires dessinent en photographies aériennes de « larges coups de crayon » ;
- d) *roches vertes* plus ou moins schisteuses emballant des « carbonatites », souvent en bancs bien réglés (Irarchen). La base de ces « carbonatites » se lie insensiblement aux calcaires précédents, notamment à Khediat el Joul à l'E d'Akjoujt, aux travaux de Tabrinkout et à Sainte-Barbe (Irarchen central) ; au G. Raoui, ces roches vertes

renferment un conglomérat à petits éléments arrondis des quartzites bleus de la base (détermination J. Barrère) : ces roches vertes et surtout les « carbonatites » montrent en photographies aériennes des teintes très sombres ; épaisseur variable, de 30 m (Khediât el Joul) à 80 m (Irarchen) et plus de 200 m aux sondages du Guelb Moghrein.

e) *schistes argentés*, généralement de teinte claire, apparaissant en blanc sur les photographies aériennes ; ces schistes contiennent à Legleitât el Bird des lits peu épais, concordants (14 à 15 lits dénombrés) de schistes chloriteux vert sombre (NE de la fig. 7) ;

f) *schistes rouges à hématite* mêlés à de très petits lits de quartzites ferrugineux ; épaisseur : 15 à 25 m ;

g) *quartzites ferrugineux*, de concentration diverse en hématite, en lits millimétriques ou centimétriques, séparés par des lits de même épaisseur, clairs, quartzitiques ou jaspoides, quelquefois rouges (Irarchen el Hamra et Bouzegrar) ; épaisseur : 15 à 20 m ; ces quartzites apparaissent sur le rag et sur les photographies aériennes comme des coups de crayon noirs, incisés ; à Tamagot,

des horizons de quartzites à magnétite superposés à ces derniers ont été l'objet de recherches, mais la coupe est ici peu claire.

h) les quartzites ferrugineux reposent sur un mur de schistes rouges à hématite et sont surmontés à Choueikaniat (région nord-ouest) par des quartzites bien lités, rosâtres et bleuâtres qui constituent le sommet de la série visible d'Akjoujt.

On retrouve des roches vertes au S de l'Amatlich, mais on ne connaît pas leur limite d'extension méridionale. Au Nord-Ouest par contre, ces roches vertes disparaissent (Choueikaniat), et les quartzites blancs bien lités, associés à des schistes fissiles verts, supportent la série des schistes argentés. Ces quartzites blancs sont probablement les équivalents des quartzites de Bakel (communication orale de A. Blanchot).

II. Mode de plissement de la série.

Les observations de terrain et l'examen combiné des photographies stéréoscopiques aériennes de l'Institut géographique national (mission 101, feuille Akjoujt, 1954, 48-XXII) montrent clairement des discontinuités tectoniques sur lesquelles l'attention vient d'être attirée [Tessier, Dars et Sougy, 1961]. Elles ont été interprétées par ces auteurs comme des charriages généralisés de la série schisto-gréseuse (série allochtone) sur les calcaires et les formations de la base de la série d'Akjoujt (autochtone), le socle d'Aguelt Sidi correspondant à une fenêtre. On observe, de fait, des contacts anormaux, faiblement pentés (pendages inférieurs en général à 45°) qui se manifestent sur le terrain : par des différences notables de schistosité lorsqu'on traverse une série d'apparence parallèle, par le recoupement à angle aigu du front de certains niveaux bien nets (tels les quartzites ferrugineux) par d'autres unités, plus centrales, et enfin par l'empilement des trois termes, roches vertes, schistes et quartzites ferrugineux du sommet de la série, en position normale, sans flancs inverses (sauf rares exceptions), à l'exclusion des formations de base, restées collées au socle précambrien². Toutes ces régions de contacts anormaux sont particulièrement riches en quartz, en lames parallèles aux plans de ces contacts. Nous examinerons successivement les régions nord et sud du « bassin ».

RÉGION SEPTENTRIONALE. — Le couple stéréoscopique (fig. 3)³ montre le recouvrement sur 2 km en direction SSE, du chaînon d'Argoug el Asfar (20 km NE d'Akjoujt) par un chaînon plus occidental. Le chaînon chevauché réapparaît

aux extrémités nord et sud du recouvrement. La photographie (fig. 4) montre deux contacts anormaux subméridiens, séparant trois unités différentes. L'unité centrale comprend essentiellement trois bancs, plus ou moins télescopés, de quartzites ferrugineux, pentés moyennement (45°) au Sud, disposés perpendiculairement aux fronts (subméridiens) des unités latérales. Le chaînon oriental subautochtone de Bou Siroual est chevauché sur son bord ouest par l'unité centrale, dont les bancs de quartzites s'incurvent vers le Sud pour épouser le contact mutuel. A l'Ouest, cette même unité centrale est chevauchée par le chaînon subméridien de Gleibat Decken, avec rebroussement vers le Nord, à leur contact, des extrémités des trois bancs de quartzites de l'unité centrale.

Ces deux rebroussements marginaux inverses s'opposent à l'interprétation de l'unité centrale comme une fenêtre tectonique. Ils soulignent en effet l'ordre respectif de mise en place de trois unités : l'unité centrale venant s'appuyer sur Bou Siroual, *précédant* le mouvement du chaînon de Gleibat Decken vers l'unité centrale.

Il en est de même, en général, dans toute la région orientale, où les différents chaînons ne présentent qu'un recouvrement mutuel limité ; leur mise en place s'effectuant progressivement d'Ouest en Est, ceux de l'Ouest venant buter

2. Une importante exception sera décrite plus loin, avec la participation de calcaires à ces mouvements tangentiels.

3. La reproduction de ces documents nous a été autorisée par l'Institut géographique national (I. G. N.) que nous remercions vivement ici.

sur les précédents sans guère les déborder vers l'Est.

Ces recouvrements ont une extension longitudinale limitée. Dans la région orientale, l'extrémité de trois de ces unités tectoniques montre des

fermetures périanticlinales qui ne laissent aucun doute sur leur enracinement méridional. La fig. 5 illustre beaucoup mieux qu'une longue description ces dispositifs structuraux. La région méridionale, où ces chaînons s'enracinent, est celle

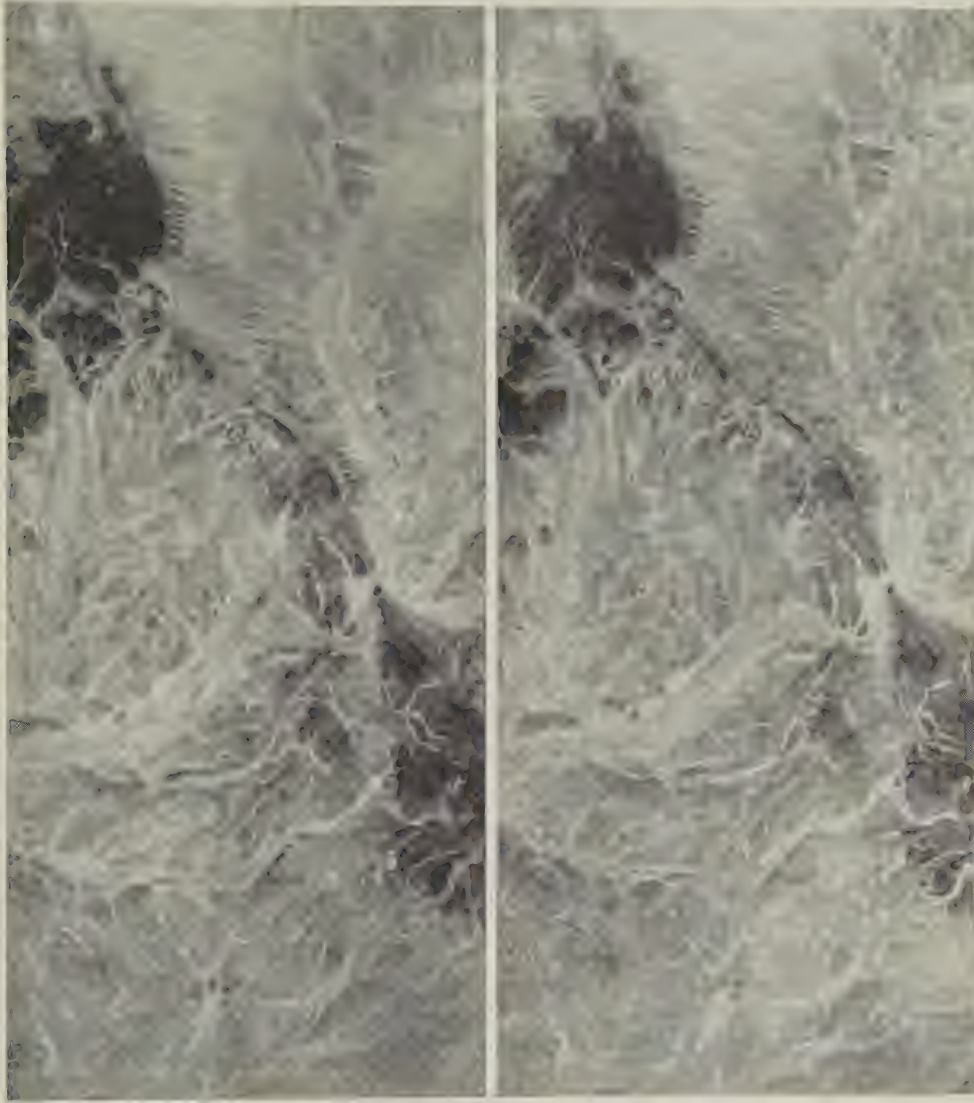


FIG. 3. — Couple stéréoscopique de la partie méridionale du chaînon d'Argoug-el-Asfar, montrant le chevauchement de deux chaînons.

Échelle 1/50 000 env. Cliché = Institut géographique national.

des Legleitiat, enracinée également ; elle sera examinée plus loin.

Vers le NW d'Akjoujt, les plis se détendent. Au Khemiat el Beida, on observe quelques structures synclinales fermées dans les quartzites

ferrugineux. A l'W de l'Oued Tertiat, que longe et détermine un grand accident dirigé NNE, les structures de Choueikaniat sont enracinées ; seule la partie axiale et orientale de l'anticlinal de Choueikaniat est déversée vers le Nord dans

les quartzites de base. Mais la succession des schistes argentés, puis des schistes à hématite, est régulière de part et d'autre de cet accident, sous les quartzites ferrugineux à pendages inversés des deux flancs (fig. 6).

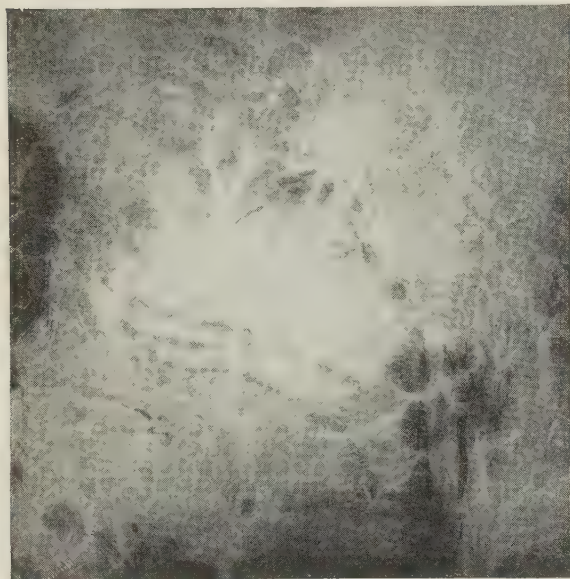


FIG. 4. — Écaille du Guelb Raoui. La largeur de la figure est d'environ 3 km. Cliché : Institut géographique national.

La position en horst des Choueikaniat est peut-être à l'origine de cette stabilité relative (?). Enfin à l'extrémité ouest, à Tourarine, on retrouve un petit chevauchement vers le Nord sur des structures vraisemblablement autochtones.

Mais au sein même de toute cette région septentrionale et nord-orientale, il existe de nombreuses structures fermées, et elles paraissent former butoir aux différents plis couchés. Ce sont, d'Ouest en Est ⁴ :

- a) l'anticlinal d'Oumachouema (flanc ouest de l'Atomaï) dirigé NNW;
- b) le front nord de l'Atomaï avec ses deux synclinaux dirigés NE;
- c) le chaînon de Bou Siroual, dirigé vers le Nord, comportant un petit synclinal méridional;
- d) la base (septentrionale) du chaînon d'Irarchen el Hamra dirigée WNW⁵;
- e) les deux chaînons dirigés NE d'Irarchen et d'Araguib;
- f) le pied nord-est des chaînons de Tabrinkout et de Afogjane.

Tous ces chaînons, sauf (e) montrent des coupes complètes et sont au moins en partie enracinés bien qu'ayant pu, sur un de leurs flancs, avoir subi des « coups de boutoir » tangentiels.

Les plus caractéristiques de ces structures sont celles qui sont dirigées précisément NE, direction orthogonale à l'axe tectonique principal dirigé ESE. Ces structures : Atomaï nord, Irarchen et Araguib ont subi seulement de légères translations vers le Sud-Est parallèlement à leurs directions. Ces petits mouvements sont visibles quand on les observe du Nord (Irarchen) ou du Sud-Ouest (Atomaï).

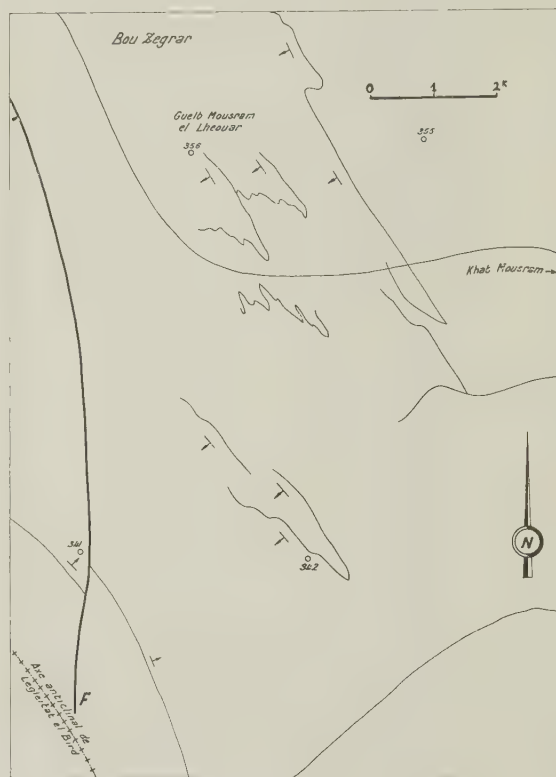


FIG. 5. — Enracinement vers le Sud du chaînon de Bou-Zegrar. Les chiffres (355...) correspondent aux numéros des photographies aériennes I. G. N.

Les plis ont un noyau formé de calcaires et de carbonates (Araguib-Sainte-Barbe) plus ou moins glissés sur la base normale pélitique, quartzitique et conglomératique de la série.

L'orientation vers le Nord-Est des chaînons ci-dessus est originelle : leur couverture schistogréseuse est moulée sans disharmonie importante sur l'axe des calcaires et des carbonates. Ces

4. Ces structures fermées ont été hachurées sur la carte tectonique.

5. L'enracinement de ce chaînon est prouvé par la quasi-continuité sur plus de 2 km d'un filon mince de roches vertes, dirigé SW, de la famille des roches vertes inférieures.

derniers, souvent volumineux et de mise en place en toute hypothèse précoce vis-à-vis de l'orogénèse, ont participé par leur rigidité et leur enracinement vraisemblable dans le socle à la stabilité de ces chaînons transversaux.

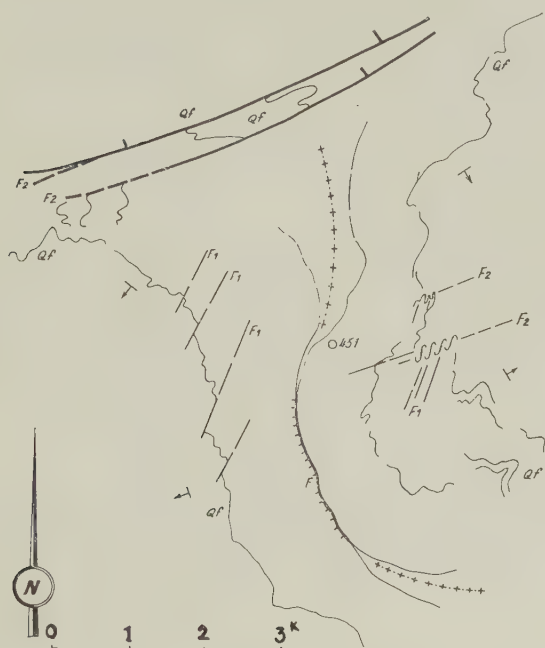


FIG. 6. — Anticlinal de Choueikaniat.

En résumé, toute la région, située au N de l'axe principal joignant Aguel Sidi à l'Ouest à Akjoujt et Rhasremt à l'Est est jalonnée par des plis anticlinaux souvent décollés des calcaires de base, plis déversés vers le Nord et le Nord-Est, et à flancs inverses souvent rabotés. Chacune des écailles est moulée sur la précédente sans guère la déborder vers le Nord-Est. Les chaînons les plus orientaux de Bou-Zegrar sont enracinés vers le Sud. Le serrage et l'écaillage des plis diminuent également vers l'Ouest où les structures symétriques des Choueikaniat sont enracinées, au moins pour l'essentiel, ainsi que les chaînons transversaux dirigés NE.

RÉGION MÉRIDIONALE. — Nous examinerons successivement les chaînons des Areriate et de Gleibat Zelouf, puis ceux de Achmenchika et enfin les chaînons de Legleitit à l'Est.

Partant de l'extrémité sud-ouest (rive droite du Khatt el Tertiat) où il existe deux structures très simples et rigoureusement symétriques dans les quartzites de la base, on trouve ensuite :

A) *Les Areriate*. L'Areriate el Zaouguet est constitué, dans sa partie nord-occidentale, par une

très belle terminaison périclinaline d'axe SE-NW. Il est formé de deux niveaux de quartzites ferrugineux pentés régulièrement à l'Ouest (45° en moyenne) pour la retombée occidentale. Par contre, son flanc nord est certainement poussé vers le Sud.

L'Areriate el Bird, un peu plus à l'Est, ne paraît pas faire partie de la même unité structurale. Ce chaînon semble appartenir en effet à la couverture directe du socle d'Aguel Sidi, écaillé vers le Sud, et séparé, de plus, du socle au Nord et du chaînon d'el Zaouguet à l'Ouest, par un grand accident dirigé ESE, subvertical et directionnel par rapport à l'axe principal. En effet, la coupe de el Bird est relativement aberrante. Elle comporte, avec des pendages faibles au Nord, des quartzites ferrugineux très injectés de quartz à la base supportant des schistes rouges à hématite, puis un gros amas de quartz schistifié. Il s'agit donc exceptionnellement d'un flanc inverse d'un pli couché au Sud et déporté, puisque reposant sur des roches vertes écrasées.

Revenons au périclinal d'el Zaouguet. On trouve jusque dans la région de Tamagot (10 km au Sud) des affleurements de pegmatites et plusieurs pointements de granite écrasé qui suggèrent que ce périclinal pourrait être aussi discontinu sur son flanc ouest que sur le flanc nord, malgré l'apparence d'un enracinement sur les 10 km d'allongement des quartzites pentés modérément à l'Ouest.

A l'E de la grande piste de Nouakchott à Akjoujt, le Gleibat Zelouf paraît ne plus comporter d'accidents tangentiels, mais des failles rectilignes, dirigées ESE, à pente moyenne au Nord. Ces failles séparent des structures plus détendues, dont certaines sont fermées, dans les calcaires ou les roches vertes.

B) *Le chaînon d'Achmenchika*. Ce chaînon est composé de deux anticlinaux, à noyaux de roches vertes et de chloritoschistes, et de petits synclinaux étroits de quartzites ferrugineux pentés à environ 45° au Nord. Leur continuité en direction ainsi que les pendages évoquent leur enracinement probable.

C) *Les chaînons des Legleitit*. Nous insisterons davantage sur les modalités structurales de ces chaînons plissés apparemment en direction ENE, direction déjà amorcée par l'Achmenchika.

La direction conjuguée NNW que prend le chaînon de Legleitit recoupe l'axe principal au col séparant les bassins du Khatt en Tomadi à l'Ouest, et du Khatt Mousrane el Ahouer au Nord. C'est la direction régionale majeure.

a) *La chaîne du Legleitit el Bird* dirigée NNW

et celle de *Legleitit el Khader*, qui la prolonge à l'Ouest après une rotation régulière de 90° environ, sont enracinées. Les preuves en sont : la régularité de torsion de leur axe ; les pendages symétriques de leurs deux flancs respectifs ; l'absence de brèches, de quartz et de mylonite ; la parfaite continuité sur plus de 3 km d'une quinzaine de petits niveaux noirâtres⁶ compris dans les schistes argentés du flanc sud de l'anticlinal.

Les levés à l'échelle de la géologie minière des carbonates minéralisés du *G. el Khader* ont confirmé la symétrie de cet anticlinal occidental à l'extrémité ouest de la structure des *Legleitit*.

Le chaînon de *L. el Bird* se poursuit en direction SSE au-delà des dunes de l'Amatlich vers Kaouat el Khadra et Grara el Jnoun. De nombreuses failles subverticales en direction NNW, à regard ouest, dont la principale prend légèrement en écharpe l'axe anticlinal de *L. el Bird*, paraissent bien marquer un panneau relevé du socle vers l'Est, sur lequel vient buter la structure de *Legleitit*.

On voit donc l'importance prise dans la zone orientale d'Akjoujt par cette direction nouvelle : SSE ; elle s'imprime également dans la direction des écailles du flanc nord qui paraissent venir buter contre elle.

b) On trouve à l'intérieur de ces chaînons enracinés et incurvés des *Legleitit* un écaillage d'un style particulier (fig. 7).

C'est une sorte « d'assiette » demi-circulaire de 5 km de diamètre constituée par les calcaires de la base de la série d'Akjoujt, à pendages périclinalaux, supportant les roches vertes. Cette « assiette » est superposée aux schistes argentés du périclinal de *Legleitit* par l'intermédiaire de bancs plus ou moins épais de quartz (0,50 à 10 m) qui soudent, en certains points, les calcaires de la base de « l'assiette » et les schistes argentés du substratum.

Le bord est de cette écaille n'est pas superposé directement aux schistes autochtones : deux petites unités intermédiaires, constituées respectivement par des quartzites ferrugineux à la base puis par des roches vertes, s'interposent entre l'écaille et les schistes argentés autochtones.

Sur son bord nord, l'écaille a raboté à angle droit le chaînon anticlinal, à cœur de carbonate, de *G. el Khader* ; trois ou quatre collines de schistes, rebroussés en direction ESE, jalonnent ainsi l'extrémité septentrionale de l'écaille.

Au Sud, les alluvions de l'Oued Agouedim masquent l'observation, mais à l'Ouest, les schistes argentés autochtones dirigés WSW sur plus de 20 km de long supportent, à angle droit, des roches exotiques : quartzites ferrugineux et

roches vertes généralement écrasées en direction N à NNW.

Des accidents profonds ont découpé l'autochtone en forme de graben en direction SSE et ont ainsi facilité le glissement de l'écaille. Ces failles se lisent également bien dans les bandes quartzitiques allochtones et suggèrent un certain syncinématisme. Plus au Sud, les directions vers le Sud-Sud-Est de ces quartzites allochtones sont marquées par des bandes latéritiques superposées en relief sur le rag⁷.

La superposition tectonique de ce complexe à l'autochtone, constitué ici par le périclinal des *Legleitit* (peut-être en cours de formation), est classique ; les calcaires de l'écaille majeure, superposés à deux petites écailles (stratigraphiquement plus élevées), étant stratigraphiquement les plus bas, ont été dégagés les derniers, tout en conservant une partie de leur couverture normale de roches vertes⁸.

En résumé, la région méridionale du bassin d'Akjoujt a une architecture très différente d'Ouest en Est :

— à l'Ouest, les chaînons anticlinaux des *Ariate-Zelouf* jalonnent la direction (ESE) de l'anticlinal principal. Leurs plis sont déjetés vers le Sud-Sud-Ouest. Mais la rigidité de certains accidents, les pendages modérés et la terminaison périclinal d'el Zaouguet, au Nord-Ouest, suggèrent que les déplacements tangentiels ont été moins importants que sur le flanc nord. Les poussées apparentes sont dirigées au Sud et au Sud-Ouest. Enfin les quelques pointements de granite apparents paraissent correspondre à de petits écaillages ;

— au méridien d'Akjoujt, le chaînon de *Gl. Zelouf*, puis de *Achmenchika*, s'infléchissent vers l'Est et l'Est-Nord-Est. Cette direction est très constante jusqu'au chaînon transverse de *Legleitit el Bird* enraciné, comme son satellite d'el Khader à cœur de carbonates (siège des recherches de fer).

La direction (SSE) de cette chaîne de *Legleitit*, enracinée, est d'une importance tectonique considérable. Elle se marque en gravimétrie par un maximum de « lourdeur » locale⁹.

Ce « seuil » se prolonge sur le flanc nord et recoupe les directions tectoniques précoces (ESE),

6. Tufs éruptifs ?

7. L. Renaud [1958, p. 39] a observé des phénomènes du même ordre.

8. Cette « assiette » formait peut-être la couverture normale du granite d'el Kleihouat au Nord-Ouest : zone « chauve » du socle dans cette direction « amont » (en gravité).

9. Communication orale de M^{lle} Crenn, Directeur de l'Institut géophysique de l'O. R. S. T. O. M. à Dakar.

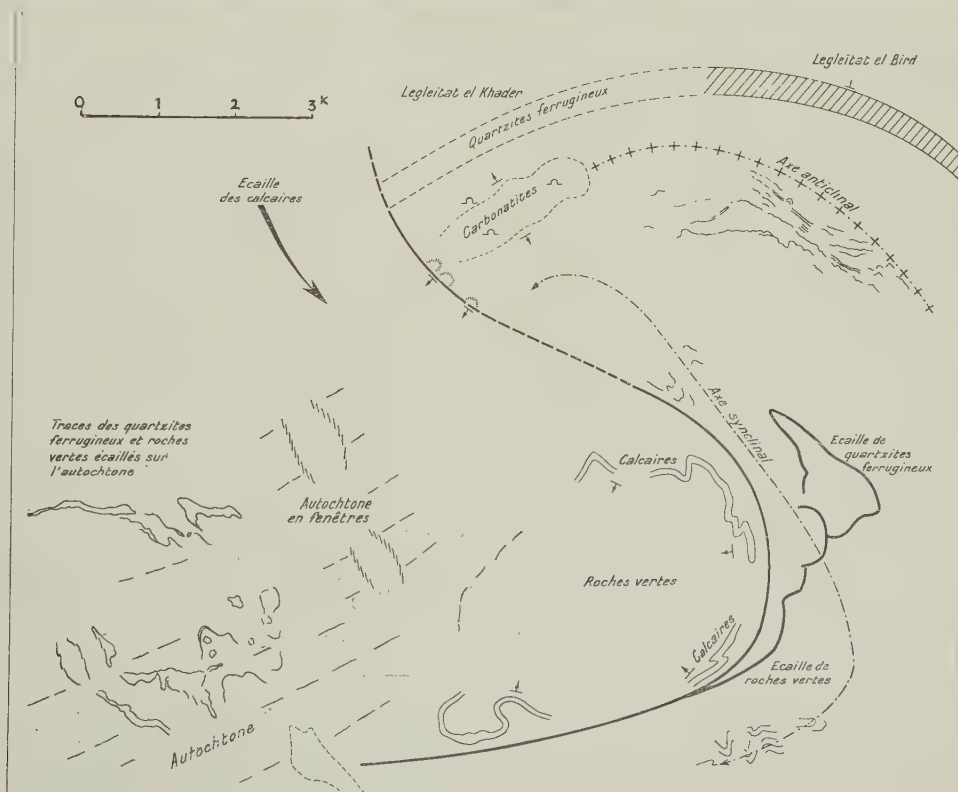
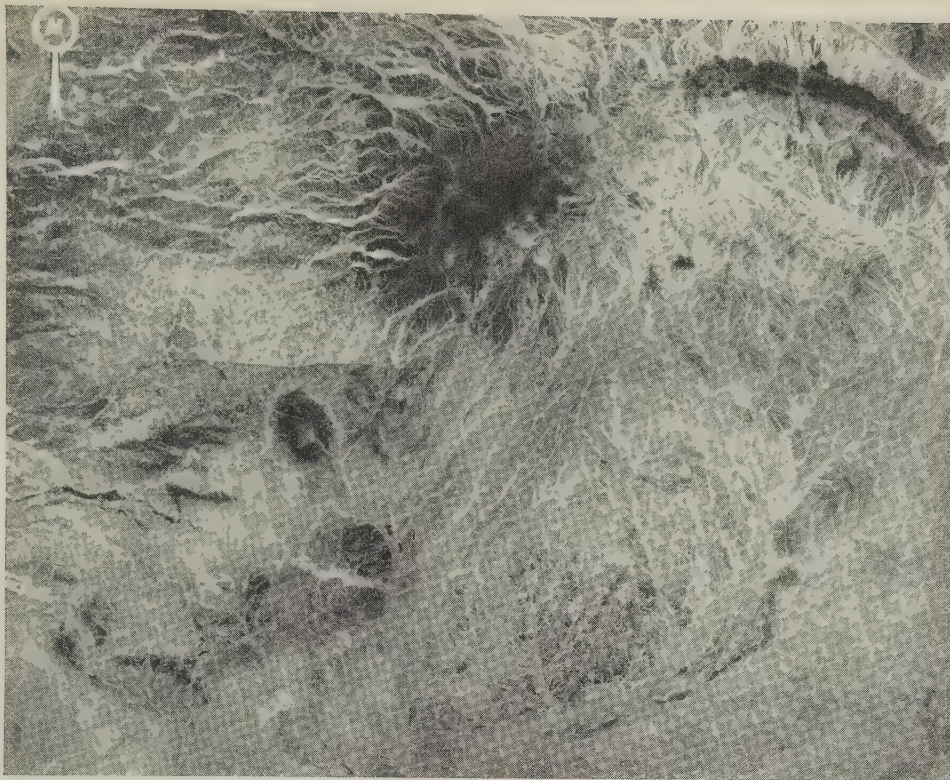


FIG. 7. — Assemblage photographique de la région de Legleit el Khader. Anticlinale autochtone (au Nord-Est et à l'Est) et lambeaux charriés (à l'Ouest et au Centre). Clichés : Institut géographique national.

et il paraît bloquer les écaillages de ce flanc. Enfin le flanc sud ne paraît pas échapper à certains écaillages à direction centrifuge ; mais nous avons ici la preuve que ces déplacements tangentiels sont mineurs et restent toujours orientés par la direction tectonique principale (ESE) dont nous examinerons maintenant les modalités transversales.

LES FAILLES TRANSVERSALES. — Les grands accidents de l'Oued Tertiat à l'Ouest, de l'Atomaï, de l'Irarchen-Jairinié (recouvert sous les écaillages du Nord, mais probablement majeur) au centre, et de Tabrinkout à l'Est, sont subverticaux ; leurs jeux ont constitué un grand graben, dont le centre se situerait vers Akjoujt. Ces accidents dénivellent au surplus le socle d'Aguelt Sidi en paliers remontant vers l'Est, prolongeant ainsi les affleurements de cette « zone axiale » dans cette direction. Quel est le rôle structural de ces accidents ? Leur jeu paraît très étendu dans le temps ; en effet :

a) *Ils sont certainement précoces*, et participent au mécanisme de la subsidence en raison de leur orientation (NNE), qui souligne celle de nombreuses structures à noyaux calcaires, en arrière (au Sud-Ouest) des écaillages de la région nord. Ces directions structurales (NNE) prédominent vers l'Est (Irarchen-Araguib) où elles s'accompagnent d'accidents parallèles.

b) *Ils sont oblitérés par des accidents postérieurs.* A l'extrême Ouest, un grand accident dirigé NE (à regard NW) et ses satellites, recoupent l'accident de l'Oued Tertiat. Toute la petite cuesta, flanc nord des Choueikaniat (à pentes nord-est et est), montre cette imbrication où les accidents dirigés NNE sont recoupés par des accidents postérieurs (fig. 6).

— Le grand accident oriental de Gl. Zelouf (Irarchen-Zelouf), lui-même tardif, est recoupé par une faille de direction ESE, parallèle au grand accident vertical d'Amagouer.

— Le quartz (cuprifère) du « kilomètre 60 » — Tabrinkout est schistosé au centre de la Kediat Tabrinkout, mais est oblitéré aussi en de nombreux points par les écaillages.

Les écaillages (postérieurs aux plissements) sont donc tardifs par rapport à ces grands accidents ; entre Atomaï et les Choueikaniat, ils paraissent les « canaliser », mais on a au surplus la preuve qu'ils ont joué encore, après les écaillages.

— L'accident de l'Atomaï, précoce si on considère les deux synclinaux transverses en direction NNE, recoupe au Sud-Ouest la structure anticlinale enracinée et l'écaillage appliquée sur elle.

Sur le flanc sud, le grand accident vertical d'Amagouer recoupe tous les plis « échappés » du socle vers le Sud (flanc inverse d'A. el Bird raboté à l'Ouest) jusqu'à la piste de Nouakchott.

— L'accident d'Irarchen-Jairinié (NNE) paraît responsable de la très importante flexuration post-tectonique de l'anticlinorium méridional, entre Legleitit el Khader et Gl. Zelouf, ce qui lui donnerait un rejeu considérable (de l'ordre de plusieurs milliers de mètres) ; au Nord, il est enseveli par les écaillages du flanc nord ; au centre, il est cicatrisé par une dolérite récente.

En résumé, on a la preuve que ces accidents verticaux sont contemporains de l'orogénèse, dans tout son déroulement.

De nombreuses mesures de linéations (axes des petits plis) ont été faites sur les deux flancs du bassin. Les résultats de ces mesures ont été reportés sur la carte tectonique. Ils confirment l'homogénéité à l'échelle régionale de la tectonique principale et la *subautochtonie* de tout l'édifice.

Les axes des linéations plongent, sur les deux flancs, vers l'axe principal, quelles que soient les modalités des plissements, et parallèlement aux grands accidents dirigés NNE, confirmant ainsi leur jeu précoce. Quelques chiffres aberrants ont été relevés sur certaines écaillages (« assiette » des Legleitit el Bird notamment, qui peut avoir pivoté).

LES DOLÉRITES RÉCENTES. — Ces filons ont un mode d'érosion en boules et une composition qui sont classiques [Blanchot, 1955] ; leur âge hercynien est prouvé dans le bassin de Taoudeni comme recoupant des formations post-carbonifères. Tous ces filons sont *postérieurs aux plis et aux écaillages* qu'ils recoupent en continuité (G. Raoui, Bou-Zegrar, Irarchen el Hamra) ¹⁰.

Leur cartographie montre aux environs d'Akjoujt leur direction subméridienne sur de très longues distances, et leur tendance à se désolidariser des directions précoces akjoujtiennes (NNE) pour se mouler sur les directions tardi-tectoniques (SSE) de cette orogénèse.

Il n'est pas question d'attribuer à ce type de roche filonienne un filon de roche verte de 10 à 15 m d'épaisseur, qui recoupe sur 2 km de long en direction N 30° E les schistes et quartzites

10. A l'Achmenchika, un de ces filons de dolérite récente, qui recoupe des schistes sur plusieurs kilomètres en direction N-S, bute sur des quartzites ferrugineux de leur toit. J. Delpy nous a dit avoir constaté le même phénomène dans l'Adrar, mais exceptionnellement, au contact de quartzites où le filon passe à l'état de sill (feuille au 500 000^e Tijigjaoum el Ajar).

de l'extrémité orientale du chaînon d'Irarchen el Hamra (dirigé E-W, au NE d'Akjoujt). Il est très légèrement déplacé par l'écaillage du flanc sud de ce chaînon et lui est donc antérieur. Il paraît donc contemporain de la tectonique principale de la série d'Akjoujt. On le suit sur le rag, au N de la piste d'Atar et il paraît bien recoupé par une dolérite récente (observation de J. Barrère).

RÉSUMÉ DE L'ÉTUDE TECTONIQUE. — Reprenant les différentes modalités de ces plissements et des accidents, on peut résumer l'histoire structurale de la série d'Akjoujt de la façon suivante :

1) Une fosse subsidente paraît s'être différenciée, à Akjoujt, après le dépôt des calcaires oolithiques qui constituent le substratum commun de cette série à l'Ouest, et de la série cambro-ordovicienne, essentiellement gréseuse, à l'Est. Son approfondissement, en direction principale ESE, aurait été contemporain du jeu en graben d'accidents en direction NNE dont l'empreinte est encore visible. Le plongement axial des linéations paraît refléter ces affaissements subsidents. C'est peut-être dès cette époque que les roches vertes de la base de la série se seraient mises en place (à travers les accidents subsidents, transverses ?).

2) Après le dépôt des quartzites ferrugineux du sommet (aucune formation d'âge postérieur n'étant comprise dans les anses synclinales de ces quartzites), une orogénèse, compensatrice de ces affaissements, a soulevé verticalement l'axe Agueli Sidi-Akjoujt, qui s'est tronçonné en blocs remontant vers l'Est par le jeu des accidents dirigés NNE. Le filon de roches vertes d'Irarchen el Hamra (dirigé N 30° E) peut s'être mis en place à cette époque.

Ce jeu des accidents en direction NNE aurait canalisé alors le mouvement de descente par gravité de la couverture schisto-gréseuse de part et d'autre (Nord et Sud) de la « zone axiale », les calcaires et les quartzites blancs restant collés généralement au socle précambrien.

a) En général, toute la région septentrionale est écaillée ; cependant des butoirs limitent les mouvements centrifuges ; ce sont essentiellement les anticlinaux enracinés en direction oblique ou transverse qui jouent ce rôle (Atomaï et Irarchen). La position du butoir d'I. el Hamra, sur lequel se moulent les plis de Chouema et d'A. el Asfar, dépend probablement du nouvel axe en direction NW accrochant également les plis à leur extrémité sud-est.

b) Au Sud-Ouest et au Sud, des chaînons s'in-

dividualisent à une certaine distance de l'axe, parallèlement à lui, et restent enracinés, plus qu'au Nord : Arieriate, G. Zelouf, Achmenchika. Ces enracinements peuvent être attribués à un enfoncement précocé, en graben, de ces chaînons méridionaux (accident vertical d'Amagouer) alors que le chaînon d'A. el Bird, couverture directe du socle d'A. Sidi, montre un flanc inverse déporté vers le Sud.

Il est évident que tout le rag désertique s'étendant entre Akjoujt et les différents chaînons méridionaux correspond à la surface érodée de plis de même style que les précédents ; mais les pendages relativement élevés des collines centrales (Guelb Moghrein) ainsi que l'enracinement des petites structures situées sur l'axe (G. el Joul) suggèrent que les translations les plus importantes correspondraient précisément aux plis de cette région désertique, totalement érodés actuellement (rag el Abiod).

c) Au Sud-Est, une nouvelle direction (NNW) apparaît, et qui reste « figée » dans les cartes gravimétriques actuelles comme un seuil lourd contre lequel viennent buter le chaînon de Legleit et el Bird et les écaillures du bord nord. L'apparition de cette direction (NNW) qui recoupe l'axe principal ne paraît cependant pas très tardive par rapport au début de l'orogénèse ; c'est elle en effet qui détermine et qui fixe, au Sud-Est, les chaînons de Bou-Zegrar en fermetures périlinales, enracinées.

Le déferlement centrifuge des plis couchés se poursuit, par contre, très tardivement ; telle l'« assiette » calcaire des Legleit, qui témoigne d'un important degré d'érosion du lieu de son origine, et de « décoiffements » antérieurs des unités stratigraphiques superposées (quartzites ferrugineux, puis schistes et roches vertes, en partie).

De toute façon, la grande altitude relative à laquelle a été portée l'axe principal paraît rester, en fait, l'unique moteur des plissements. Ceux-ci, comme les écaillures qui en dérivent, ont un mouvement apparent centrifuge et un cheminement limité en raison notamment de leur origine centrale et de l'existence de butoirs anticlinaux enracinés au Nord et au Sud, du pénéclinal des Legleit et enfin du seuil « lourd » en direction NNW.

Les dolérites récentes, de directions subméridiennes à SSE, scellent l'histoire tectonique « vive » du bassin d'Akjoujt.

3) Sans qu'on puisse dater ces événements par des arguments paléontologiques, l'absence de formations postérieures aux quartzites ferrugineux, par ailleurs apparemment non érodés, dans

les plis synclinaux, suggère que l'orogénèse pourrait être d'un âge immédiatement postérieur à ces quartzites. S'ils sont ordoviciens (comme les quartzites correspondant d'Irji), c'est donc à l'époque où se déroulait la phase précoce de l'orogénèse calédonienne en Europe qu'aurait débuté l'orogénèse akjoujtienne : mouvements *sardes* (Arenig) ou *taconiques* (Caradoc).

Cette hypothèse expliquerait en outre l'abondance des roches vertes, comprises dans notre série. On sait l'importance de ces épanchements ainsi que celle du volcanisme calédonien dans les mêmes régions classiques. Au Maroc, un cycle

volcanique vient d'être daté avec précision (niveaux fossilifères) du Trémadoc [J. Destombes, 1960].

4) Enfin, on peut penser que les grands accidents transversaux, synchrones de toute l'histoire orogénique et qui ont un *rejet total probablement considérable*, ont pu préserver de l'érosion post-orogénique toutes ces chaînes, en les « fossilisant » en quelque sorte. La morphologie actuelle de cet îlot akjoujtien, si proche apparemment de la structure post-orogénique, serait due à cet enfouissement quasi instantané. Son rajeunissement serait relativement récent.

III. Minéralisations.

L'étude des différentes minéralisations d'Akjoujt a été entreprise dans de nombreux rapports et publications [Ramdohr, 1956; Vincienne, 1958].

Nous ne reprendrons ici que les modalités de ces phénomènes qui paraissent liées aux conclusions structurales précédentes.

LE GRANITE D'AGUELT SIDI. — Les affleurements de granites et pegmatites, signalés jusqu'ici comme responsables des minéralisations post-carbonatitiques, n'ont pas été étudiés par nous. Aucun argument décisif ne peut, par ailleurs, être opposé actuellement à l'hypothèse d'A. Blanchot, suivant laquelle ces intrusions seraient postérieures au dépôt de la série d'Akjoujt et à l'origine des minéralisations « acides ». D'un simple point de vue structural, nous pensons seulement que le socle d'Aguel Sidi-el Kleihouat, formé de granites et de gneiss (souvent mylonitiques), s'est comporté *passivement* lors de l'orogénèse qui l'a soulevé en horst, c'est-à-dire que nous le considérons comme antétectonique. Mais l'étude des contacts et surtout celle des linéations du Cristallophyllien restent à faire. Aucun conglomérat de base (disparu par érosion ?) ne s'observe à l'auréole du granite d'Aguel Sidi.

Il est peu vraisemblable enfin, comme le pense A. Blanchot, que les venues filoniennes et les filons de quartz traversant la série d'Akjoujt soient seuls responsables des minéralisations sulfurées.

LES CARBONATES. — Les carbonates (comme les roches vertes) caractérisent la série d'Akjoujt ; ce sont les roches-magasins de la minéralisation en cuivre et en fer. Leur âge est postérieur aux calcaires qu'ils transforment et aux roches vertes qu'elles « injectent ». On connaît aussi des carbonates intrusifs, en filons liés à des oligoclasites dans la base des schistes argentés (Legleit el

Khader). Il existe de nombreux aspects pétrographiques de ces roches (dont l'étude exhaustive reste à faire) et un certain nombre de mode de gisements :

- en amas : Guelb Moghreïn, Legleit el Khader, Sainte-Barbe ;
- en lentilles plus ou moins volumineuses : G. el Joul ;
- en « sills » interstratifiés : Tabrinkout, Sainte-Barbe ;
- en dykes : Legleit el Khader ;
- dans des failles « plates » (région nord-est d'Akjoujt) et verticales (G. Choueil, Nord), liées à du quartz hyalin.

En dehors de ce dernier cas, où ces carbonates paraissent procéder de reprises mécaniques, et des dykes de Legleit, leur *position stratigraphique constante est à la base de la série des roches vertes, dans les calcaires ou à leur toit*, quel que soit leur volume.

— Au Guelb Moghreïn occidental, les sondages et la géophysique montrent l'enracinement de ces carbonates jusqu'à 80 m au moins de profondeur et à 600 m de distance des affleurements. La proximité des calcaires, la liaison « fil à fil » des carbonates aux calcaires de G. el Joul (10 km E d'Akjoujt) obligent à penser qu'ils se sont fixés, qu'ils ont bourgeonné en quelque sorte sur ces calcaires : magasins les plus bas de la série d'Akjoujt au moment de leur mise en place (synorogénique ?).

— A Sainte-Barbe (Irarchen) et à Legleit el Khader, c'est dans les anses anticlinales, sub-enracinées, qu'on trouve les carbonates, sous les schistes argentés. Les roches vertes n'existent pratiquement plus à Legleit, le toit des carbonates massifs venant presque au contact des schistes.

Ainsi, quel que soit le mode de mise en place et leur genèse, les carbonates d'Akjoujt sont *liés quasi stratigraphiquement* à la base de la série, aux calcaires (peu épais) et aux roches vertes immédiatement superposées qu'elles « in-

jectent ». Cette position stratigraphique systématique doit être utilisée en liaison avec les hypothèses de structure pour la recherche d'éventuelles « carbonatites » enterrées.

Enfin, nous ne pouvons nous empêcher de rapprocher la présence à Akjoujt de ces roches carbonatées particulières, de celles des roches vertes et des roches d'aspect volcanique¹¹ (orthochloritoschistes de A. Blanchot, schistes chloriteux et tufacés ?). L'un de nous, plus familier avec les magnésites (CO₃Mg) dont il a étudié certains gisements [J.-P. Destombes, 1956, 1958, 1959], pense que l'origine des magnésites, filoniennes (dans les péridotites) ou spathiques (encaissées dans des calcaires sédimentaires),

peut être recherchée dans la solubilisation du Mg des roches vertes (comme du Fe pour les sidéroses) par le CO₂ d'origine volcanique, puis dans une métasomatose à faible profondeur. Cette hypothèse avait d'ailleurs été exprimée antérieurement [Faust, 1949; Friedrich, 1951], au moins en partie.

Les éléments de cette genèse paraissent réunis ici : la sidérose et la magnésite sont absentes des carbonates d'Akjoujt, mais leurs mélanges, en carbonates de composition intermédiaire, s'y rencontrent ; la solubilisation des ions ferreux et cuivreux des roches vertes peut s'être effectuée ensuite (carbonates étant formés) par le même processus, en milieu sulfuré¹².

Conclusions.

1) La série stratigraphique d'Akjoujt, homologue de la série détritique cambro-ordovicienne d'Irjij à 50 km à l'Est, s'en distingue par sa composition, son épaisseur et son mode de plissement. La reconstitution de la série stratigraphique originelle n'a pu se faire qu'en faisant la part d'accidents, généralement peu pentés, multipliant les récurrences et les épaisseurs apparentes.

La série normale comprend un complexe inférieur, discordant sur le Précambrien, composé de conglomérats, pélites, quartzites blancs et calcaires, supportant le complexe supérieur : roches vertes, schistes argentés et quartzites ferrugineux. La superposition stratigraphique normale des deux ensembles, le plus souvent en contacts disharmoniques, a pu s'identifier grâce à la présence des carbonates qui procèdent à la fois des calcaires et des roches vertes et dont la mise en place est antérieure aux plissements. La présence de roches vertes et de carbonates, et l'épaisseur de la série, impliquent des conditions de dépôt très différentes de celles des séries orientales correspondantes.

2) L'étude des plissements de la série d'Akjoujt prouve qu'elle est subautochtone. La surrection axiale des régions occidentale et centrale, compensatrice des affaissements subsidents, a déterminé des plissements de couverture typiques à poussées apparentes centrifuges. Des plis couchés monoclinaux et des écaillages s'imbriquent sur les deux flancs avec des structures anticlinales restées enracinées, qui limitent les déplacements tangentiels. Cette subautochtonie est corroborée par les directions de linéations, parallèles entre elles sur les deux flancs de l'anticlinorium principal. Le mécanisme des plissements paraît devoir être attribué à la gravité.

Un rôle essentiel a été joué par les accidents verticaux, dirigés NNE, dès l'enfoncement subsident puis lors du soulèvement axial et enfin après l'orogénèse. Les rejets totaux de ces accidents dans la région d'Akjoujt déterminent un graben d'une profondeur apparemment considérable. Cet enfouissement post-tectonique de la série d'Akjoujt est peut-être la raison de son aspect morphologique actuellement si « vivant », après un rajeunissement récent.

3) On peut se demander si la direction vers ESE de l'axe principal ne fait pas illusion ; la direction principale des plissements est NW à NNW dans la région orientale. Cette direction correspond à un axe gravimétrique lourd qui se prolonge vers le Sud parallèlement à la falaise de l'Adrar (N-S).

On interprète mieux, dans ces conditions, les différences de régime pétrographique, métallogénique et tectonique entre la bande plissée d'Akjoujt et la bande subtabulaire de l'Adrar, différences sur lesquelles l'attention avait déjà été attirée dans les régions plus méridionales.

4) Le métamorphisme local de la série d'Akjoujt ne paraît s'expliquer entièrement par aucun des facteurs invoqués jusqu'ici : granite d'Aguelt Sidi et roches vertes, pas davantage que par le dynamométamorphisme d'un plissement de couverture classique. La référence au métamorphisme régional nord-pyrénéen, d'âge secondaire, dans une fosse subsidente dépendant de la zone

11. Certaines de ces roches d'affleurement ou de sondages sont actuellement en cours d'étude par notre collègue J. Barrère, à qui nous devons d'intéressantes suggestions.

12. Type de minéralisation de Bou-Azzer (Maroc), suivant une suggestion de J. Agard, ou de Mitchipicoten (Canada), suggestion de E. Raguin.

axiale pyrénéenne peut en partie rendre compte du métamorphisme akjoujtien, dont l'intensité maximale est dirigée ESE : cipolins à minéraux d'Aguelit Sidi, oligoclasites de Legleitit el Khader, carbonates « monstrueux » du Guelb Moghreïn et de Legleitit el Khader, et leurs minéralisations en Cu, Fe et Mg.

Mais on ne voit guère ici où se situerait une véritable « zone axiale akjoujtienne » correspondant à la zone axiale pyrénéenne ; la fosse d'Akjoujt paraissant jouer à la fois les rôles tectonique et métamorphique axial.

5) L'origine des roches vertes, des chloritoschistes et des carbonates, considérée à travers son histoire tectonique précoce et la subsidence, pose la question du volcanisme pourtant moins apparent ici qu'au Sud. Les carbonates peuvent avoir pris naissance au contact des calcaires, après le dépôt des roches vertes, par diffusion du gaz carbonique sous pression dans les failles de subsidence s'alimentant au tréfond. Les calcaires, hôtes ou « catalyseurs », ont dû n'intervenir que comme un magasin fixant la métasomatose, au moins pour les plus volumineux d'entre eux (Guelb Moghreïn, Legleitit el Khader) sur l'axe principal.

La superposition du bassin à un axe gravimé-

trique lourd ne s'oppose pas à cette alimentation directe en roches lourdes (et en gaz carbonique), et la continuité de cet axe vers le Sud, sous des séries de composition analogue, permet de préjuger à la fois de l'origine de ces roches tout à fait particulières et aussi de l'existence de « seuils » sur lesquels une tectonique profonde a pu s'appuyer pour modeler ou orienter les plis de couverture.

Des interpolations vers ces régions méridionales paraissent ainsi moins hasardeuses, aussi bien pour l'interprétation tectonique que pour la recherche de matières utiles : carbonatites (?), magnésite, vermiculite, dérivant plus ou moins directement des roches vertes.

6) Enfin l'examen de la composition stratigraphique régionale montre que le maximum d'extension des roches vertes se situe vers Akjoujt. Les carbonates les plus volumineux paraissent bien enracinés, comme les calcaires de base auxquels ils sont associés. C'est donc à la fois dans la région centrale et dans celle des racines, plus ou moins masquées par les lambeaux de recouvrement et les plis couchés, qu'il y aurait lieu de rechercher d'éventuels massifs enfouis de carbonates.

Bibliographie.

- BASSOT J.-P. (1960). — Attribution au Cambro-Ordovicien des formations falémiennes situées dans le triangle Dalafi-Youkounkoun-Kedougou (SE du Sénégal). *C. R. Ac. Sc.*, t. 251, p. 112-114.
- BASSOT J.-P. et DELPY J. (1960). — Sur l'âge précambrien de la série d'Akjoujt (Mauritanie). *Ibid.*, t. 250, p. 3206-3208.
- BENSE Cl. (1959). — Sur l'identité des formations sédimentaires de la région des Kiffa et du Falémien de Selibabi (Mauritanie). *B. S. G. F.*, (7), I, p. 183-186.
- BENSE Cl. et DELPY J. (1958). — A propos de la position stratigraphique du Falémien de Mauritanie : nouvelles observations sur la coupe de Touijigigt. *C. R. Ac. Sc.*, t. 247, p. 2388-2390.
- BLANCHOT A. (1955). — Le Précambrien de Mauritanie occidentale. *Bull. Dir. féd. Mines et Géol. A. O. F.*, n° 17. Dakar.
- DELPY J. (1959). — Attribution au « Primaire » de formations métamorphiques estimées précambriennes en Mauritanie centrale. *C. R. Ac. Sc.*, t. 249, p. 1374-1376.
- DESTOMBES J. (1960). — Sur l'extension du Trémadoc dans le Sud marocain. *Soc. Sc. nat. et phys. Maroc, C. R. Séances mens.*, n° 3.
- DESTOMBES J.-P. (1956). — Magnésites (giobertites) des Pyrénées occidentales. *B. S. G. F.*, (6), VI, p. 461-476.
- (1958). — Mode de gisement des magnésites spathiques des Pyrénées occidentales (Art der Spatmagnetitlagerstätten der Westpyrenäen). *Berg- und hüttenmännische Monatsh.*, Jahrg. 103, H. 12, p. 246-250.
- (1959). — Sidéroses et magnésites spathiques. *Colloque de Leoben* (juin 1958). *C. R. in Chron. Mines Outre-Mer et Rech. min.*, n° 276.
- FAUST G. T. (1949). — Dedolomitization and its relation to a possible derivation of a magnesium rich hydrothermal solution. *Amer. Miner.*, vol. 34, p. 789-823.
- FRIEDRICH O. M. (1951). — Zur Genese ostalpiner Spatmagnetit und Talklagerstätten. *Radex Rundschau*, H. 7-8, p. 281-298.
- RAMDOHR H. (1956). — Recherches microscopiques sur les minerais du gisement du Guelb Moghreïn-Akjoujt (Mauritanie). *Bull. Dir. féd. Mines et Géol. A. O. F.*, n° 20. Dakar.
- RENAUD L. (1956). — Étude par sondages des réseaux aquifères de la région d'Akjoujt (Mauritanie). Dakar, Rapport Dir. féd. Mines et Géol. A. O. F., n° 48 (inédit).
- (1958). — Le Précambrien du Sud-Ouest de la Mauritanie et du Sénégal oriental. Thèse Univ. Clermont-Ferrand.
- SPINDLER J.-P. (1957). — Rapport de fin de mission, campagne 1956-1957. Bureau minier France d'Outre-Mer. Compilation des levés antérieurs de la région d'Akjoujt et notamment : BLANCHOT, KIEFT, GRAVENSTEIN, HALLEMANS.
- TESSIER F., DARS R. et SOUGY J. (1961). — Mise en évidence de charriages dans la « Série d'Akjoujt » (République islamique de Mauritanie). *C. R. Ac. Sc.*, t. 252, n° 8, p. 1186-1188.
- VINCIENNE H. (1958). — Sur la métallogénie de la région d'Akjoujt (Mauritanie). *B. S. G. F.*, (6), VIII, p. 245-255.

Découverte de *Monograptus hercynicus* (PERNER) dans les chaînes d'Ougarta (Algérie)

par Philippe LEGRAND*.

Sommaire. — Trois coupes classiques à la limite du Silurien et du Dévonien ont été effectuées dans la région de la Saoura : ce sont celles de l'Erg Djemel, de l'Oued Ali et de Marhouma. La présence de *Monograptus hercynicus* PERNER dans ces couches probablement supérieures à celles livrant des Trilobites à affinités dévoniennes éclaire d'un jour nouveau le problème de la limite Silurien-Dévonien au Sahara et par extension en Europe. Des corrélations avec le Tafilalet Maïder sont d'autre part ébauchées.

Au cours de la campagne d'hiver 1961, nous avons pu, grâce à l'amabilité de la Société Eurafrep, revisiter les coupes se situant à la limite Silurien-Dévonien dans les chaînes d'Ougarta. Une importante faune a pu y être récoltée en collaboration avec MM. O. Gariel et F. Wiel. Nous avons disposé par ailleurs du matériel recueilli peu après par MM. M. Gomes-Silva et M. Pacaud de la Prepa. Les principaux résultats obtenus seront donnés au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

1. STRATIGRAPHIE. — Trois coupes classiques peuvent être effectuées dans la Saoura à la limite du Silurien et du Dévonien, nous les désignerons sous le nom de coupe de l'Erg Djemel, de l'Oued Ali et de Marhouma (fig. 1).

A la suite du travail essentiel de A. Poueyto [Alimen et alt., 1952] qui, le premier, a décrit ces coupes, nous avons [1960] dans une précédente publication énuméré les différentes unités lithologiques qui s'y observent :

Ce sont de bas en haut :

— le terme supérieur de la formation des argilites de l'Oued Ali dont la base est marquée par un niveau très constant à *Scyphocrinites* sp.¹.

— la formation argilo-gréseuse du Zeimlet,

— la formation argilo-calcaire du Saheb el Djir.

Au-dessus commence la formation des grès du Dkhissa, adoptée comme base du Dévonien par M^{lle} D. Le Maître [1952] dans son important travail sur la Saoura et attribuée par cet auteur au Siegenien.

Ces unités lithostratigraphiques présentent une grande constance dans les trois coupes, mal-

gré certaines variations dans leur composition lithologique et leur épaisseur respectives. D'une manière générale, on observe du Nord-Est au Sud-Ouest, c'est-à-dire de Marhouma à l'Erg Djemel, une diminution d'épaisseur, un appauvrissement en argilites et un enrichissement en grès. Une légère lacune vers le Sud-Ouest souligne d'ailleurs, semble-t-il, le contact avec la formation des grès de Dkhissa (fig. 2). La proximité des coupes considérées, la constance de certains niveaux et les premiers éléments paléontologiques recueillis nous avaient incité à assimiler ces unités lithostratigraphiques à des unités chronostratigraphiques. Toutes les nouvelles récoltes sont venues confirmer ce point de vue sur lequel nous reviendrons ultérieurement.

2. PALÉONTOLOGIE. — *Position des échantillons.* Les derniers Graptolites cités par A. Poueyto [Alimen et alt., 1952] se situaient au-dessous du niveau à *Scyphocrinites*. Il s'agissait de *Monograptus colonus* BARRANDE et de *Monograptus nilssoni* BARRANDE trouvés dans la coupe de l'Oued Ali, auxquels nous pouvons ajouter maintenant *Monograptus varians* ELLES et WOOD récolté à l'Erg Djemel. La partie inférieure de la formation du Saheb el Djir avait livré en outre à l'Oued Ali des spécimens déterminés comme

* Note présentée à la séance du 19 juin 1961.

1. M. le Professeur G. Ubaghs, que nous tenons à remercier ici pour ses précieux conseils, avait visité le gisement d'Ougarta en 1952 et a bien voulu examiner les spécimens recueillis depuis. Il pense qu'il ne s'agit pas de *Scyphocrinus elegans* ZENKER, contrairement à l'opinion admise précédemment, mais d'un ensemble très polymorphe dont l'étude nécessiterait la récolte d'un matériel abondant.

Monograptus riccartonensis LAPWORTH dont la position stratigraphique totalement aberrante n'avait pu être expliquée.

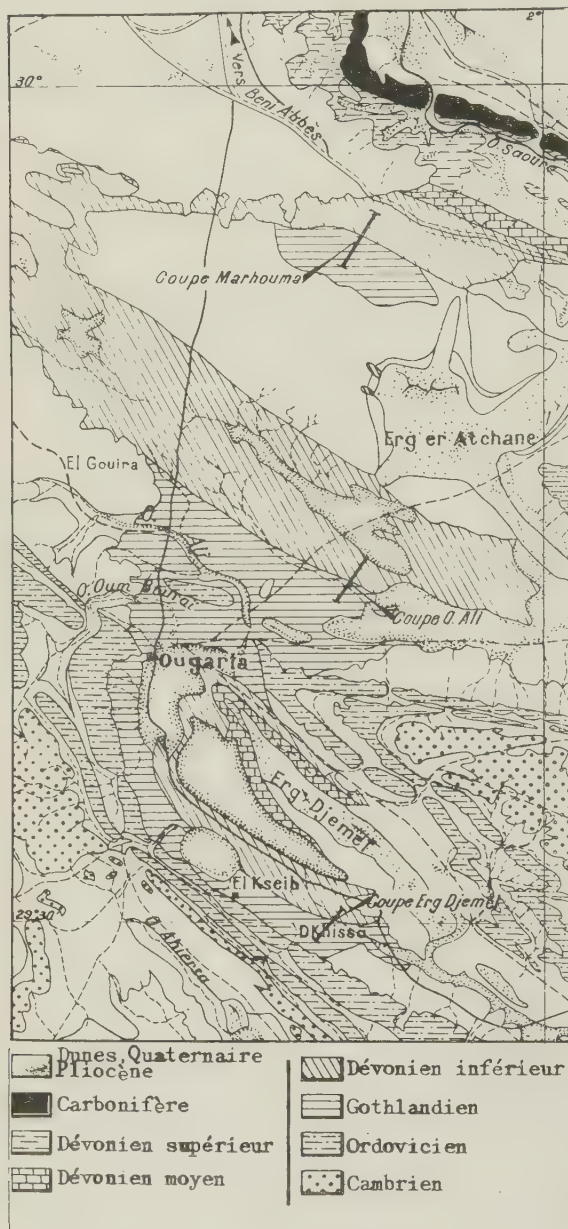


FIG. 1. — Carte de position
(extraite de la carte géologique au 500 000°).

Nos nouvelles récoltes ont essentiellement porté sur les couches comprises entre le niveau à *Scyphocrinites* sp. et la base des grès de Dkhissa. En fait, seule la coupe de Marhouma s'est révélée

riche en Graptolites et ceci jusqu'à l'apparition des premiers niveaux silteux. Un débris indéterminable a été trouvé par M. Pacaud dans la coupe de l'Oued Ali à un niveau voisin de celui qui avait fourni les spécimens déterminés comme *Monograptus riccartonensis*. Seule donc à ce jour, la coupe de l'Erg Djemel n'a rien livré, mais ceci sans doute faute de temps, les puits à main n'ayant pas été descendus assez profondément pour traverser l'épaisse croûte des argilites gypseuses altérées.

Détermination. Parmi les espèces reconnues, nous nous attacherons seulement ici à la présence de *Monograptus hercynicus* dont les premiers spécimens apparaissent au-dessous des niveaux calcaires qui se développent vers le milieu de la formation du Saheb el Djir et dont le dernier a été trouvé juste au-dessous des premières couches silteuses (récolte de M. Gomes-Silva).

Les spécimens sont dans l'ensemble bien conservés. Il s'agit de *Monograptus* de petite taille (fig. 3) à peu près rectilignes sauf dans la région proximale par suite de la déformation de la ligne dorsale due à la position particulière de la sicula. La courbure à ce niveau est d'ailleurs variable. Outre sa position par rapport à l'axe du rhabdosome, la sicula est bien caractérisée par sa forme triangulaire. Elle ne dépasse qu'exceptionnellement et très légèrement le niveau de Th. 2. Les thèques, toutes semblables, sont recourbées selon le type « *uncinatus* ». On en compte de 10 à 12 par centimètre. Ces spécimens sont parfaitement conformes à la description donnée par H. Jaeger [1959] dans sa révision de l'espèce. Nous avons pu par ailleurs comparer nos échantillons avec un spécimen provenant de Bohême dû à l'extrême amabilité de M. le professeur Bouček que nous remercions ici.

CONCLUSIONS. — a) Rappelons d'abord brièvement les données du problème du Djemelien tel qu'il a été exposé à Bonn [Legrand, 1960]. Au-dessus d'argilites du Gothlandien la formation du Zeimlet a livré essentiellement à la coupe de l'Erg Djemel des faunes à affinités dévoniennes (déterminations de M^{lle} D. Le Maître) et en particulier : *Homalonotus* e. g. *armatus* BURMEISTER, *H. e. g. roemeri* DE KONINCK, cf. *Digonius rudesdorfensis* RICHTER.

Au-dessus, la formation du Saheb el Djir, par de rares faunes de Lamellibranches et de Brachiopodes (A. Poueyto [Alimen et alt. 1952], évoquait plutôt un Gothlandien supérieur de type bohémien ; enfin, la base des grès du Dkhissa

livrait une faune nettement dévonienne avec de rares espèces pouvant être gédiniennes. Du fait de cette anomalie, nous avons proposé à titre provisoire et pour le domaine saharien le nom de Djemelien inférieur pour le Zeimlet, Djemelien moyen pour le Saheb el Djir et de Djemelien

supérieur pour la base du Dkhissa, en attendant de nouvelles lumières sur le problème.

La présence de *Monograptus hercynicus* dans la formation du Saheb el Djir des chaînes d'Ougarta apporte la preuve qu'en première approximation le Djemelien moyen est l'équivalent du

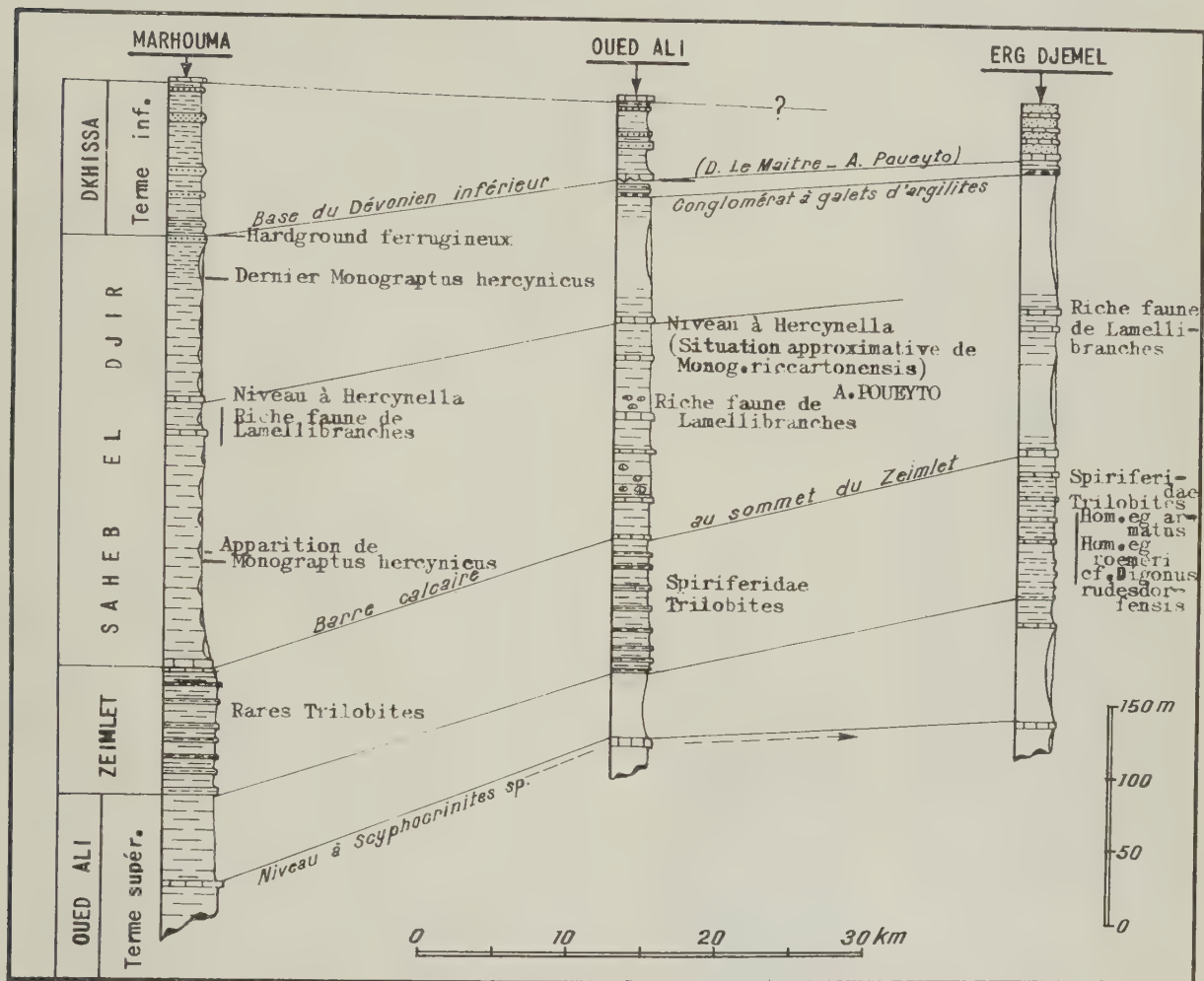


FIG. 2. — Schéma des corrélations à la limite Silurien-Dévonien dans les coupes de la Saoura.

Tous les levés originaux des sections représentées ici ont été faits au 100°. Ils ont été schématisés du fait de l'échelle utilisée.

niveau $\epsilon\gamma$ de Bohême généralement parallélisé avec le Ludlowien supérieur. Or les nouvelles récoltes de Trilobites, dont l'étude ne fait que commencer, semblent parfaitement confirmer l'affinité des faunes du Zeimlet, donc du Djemelien inférieur, avec le Dévonien, soulignant ainsi l'importance du problème.

Comme c'est uniquement la coupe de Marhouma qui a fourni des spécimens de *Monograptus*

hercynicus PERNER alors que les premiers Trilobites cités proviennent de la coupe de l'Erg Djemel, on peut penser que les unités lithostratigraphiques ne coïncident pas avec les unités chronostratigraphiques et que l'aberration observée provient d'une erreur des corrélations.

Bien que nous ne disposions pas encore de tous les éléments nécessaires pour établir nos corrélations de façon définitive, on peut d'ores et déjà

remarquer qu'une erreur est hautement improbable pour les raisons suivantes :

— les trois coupes sont relativement voisines, la succession des ensembles est partout la même

— la coupe de l'Oued Ali a fourni également un débris de Graptolites dans le Saheb el Djir, et c'est de ce niveau que proviennent les spécimens déterminés comme *Monograptus riccartonensis* LAPWORTH. Nous n'avons pu réexaminer ces échantillons mais il est très possible qu'il se soit agi en fait de *Monograptus hercynicus* PERNER;

— au milieu du Saheb el Djir les mêmes faunes de Lamellibranches et en particulier le genre *Hercynella* (que nous signalons ici pour la première fois au Sahara) se retrouve à Marhouma et dans la coupe de l'Oued Ali, puis de façon moins complète à l'Erg Djemel;

— enfin, s'ils y sont beaucoup plus rares, des Trilobites et des Brachiopodes, qui semblent identiques à ceux de l'Erg Djemel, se retrouvent à l'Oued Ali et à Marhouma.

Il y a donc tout lieu de penser, et nous espérons le prouver définitivement dans notre prochaine publication, d'une part que les unités lithostratigraphiques et chronostratigraphiques peuvent être confondues, d'autre part que le Djemalien inférieur, par ses faunes de Trilobites, est déjà du Dévonien inférieur. Or, en ce cas, étant admis la valeur chronostratigraphique des groupes invoqués, les corrélations généralement admises entre l'Angleterre, les Ardennes et la Bohême devraient être revues, le sommet du Silurien de Bohême, *i. e.* le niveau $e\gamma$, apparaissant comme un équivalent de la base du Dévonien inférieur ardennais contrairement à l'opinion la plus généralement admise.

b) La présence de *Monograptus hercynicus* PERNER dans la Saoura permet par ailleurs d'ébaucher une corrélation avec le Tafilalet Maïder où H. Hollard et S. Willefert [1961] viennent de décrire la même espèce. Il est peu douteux que les niveaux calcaires décrits par ces auteurs et qui se situent au-dessus de leur gisement soient l'équivalent des intercalations calcaires du Saheb el Djir : on y trouve la même faune de Lamellibranches et il y apparaît les premières *Hercynella*.

Au-dessous, il n'existerait pas d'équivalent de la formation du Zeimlet, le Tafilalet Maïder étant de faciès plus bohémien que les chaînes d'Ougarta, phénomène qui ne fait que s'amplifier au Dévonien inférieur. L'équivalence des niveaux à *Scyphocrinites* connus de part et d'autre reste enfin à démontrer.

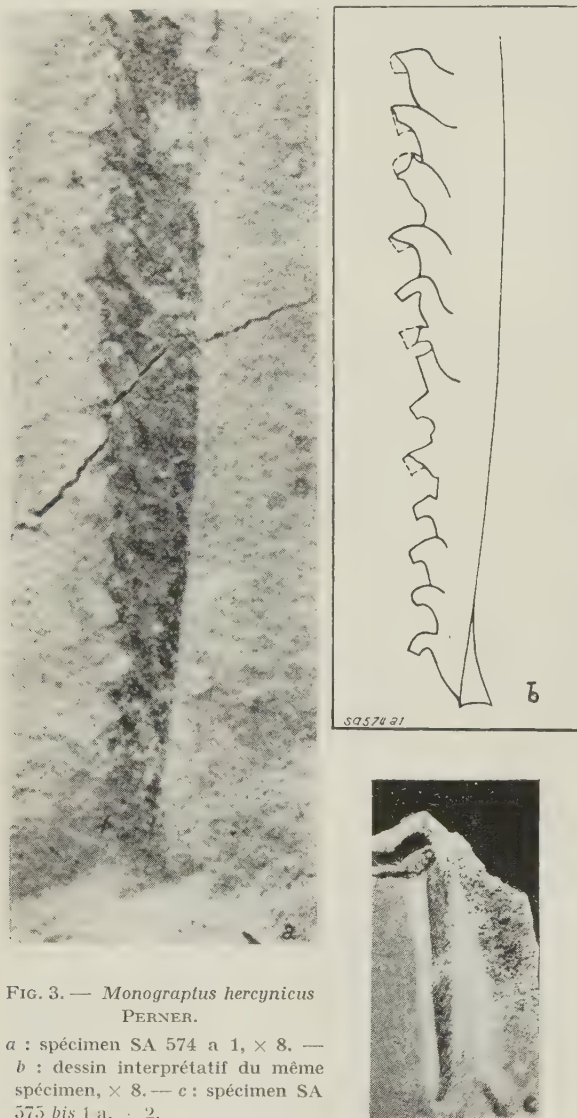


FIG. 3. — *Monograptus hercynicus* PERNER.

a : spécimen SA 574 a 1, $\times 8$. —
b : dessin interprétatif du même
spécimen, $\times 8$. — c : spécimen SA
575 bis 1 a, $\times 2$.

et les variations observées s'ordonnent d'une façon parfaitement cohérente ; de plus de nombreux niveaux repères se retrouvent d'une coupe à l'autre :

Bibliographie.

- ALIMEN H., LE MAITRE D., MENCHIKOFF N., PETTER G. et POUEYTO A. (1952). — Les chaînes d'Ougarta et la Saoura. 19^e Congr. géol. intern. Alger, *Monogr. région.*, 1^{re} sér., Algérie, n° 15.
- HILLARD H. et WILLEFERT S. (1961). — Présence de *Monograptus hercynicus* PERNER dans le Silurien du Tafilalet (Maroc). *C. R. somm. S. G. F.*, p. 42.
- JAEGER H. (1959). — Graptoliten und Stratigraphie des jüngsten Thüringer Silurs. *Abh. deutsch. Ak. Wissensch. Berlin*, Kl. Chem., Geol., Biol., n° 2.
- LEGRAND Ph. (1960). — Connaissances acquises sur la limite des systèmes silurien et dévonien au Sahara septentrional. Colloque de Bonn (*à paraître*).
- LE MAITRE D. (1952). — La faune du Dévonien inférieur et moyen de la Saoura et des abords de l'Erg Djemel (Sud Oranais). *Mat. Carte géol. Algérie*, 1^{re} sér., Paléont., n° 12.
-

Stratigraphie du Cambro-Ordovicien du Tassili N'Ajjer (Sahara central)

par Paul DUBOIS*.

Sommaire. — Présentation des coupes stratigraphiques levées entre Amguid et Fort Gardel dans le Tassili N'Ajjer. La discordance de ravinement, déjà signalée par de nombreux auteurs dans le Cambro-Ordovicien, apparaît dans cette région comme un phénomène général.

Lors d'une mission géologique effectuée au cours de l'hiver 1959 dans le Sahara oriental, plusieurs coupes levées dans le Cambro-Ordovicien du Tassili N'Ajjer entre Amguid et Fort

Gardel, ont permis de préciser la lithologie de cette formation et d'en étudier les variations latérales. Les principaux résultats sont donnés dans la fig. 2 où sont juxtaposées les différentes

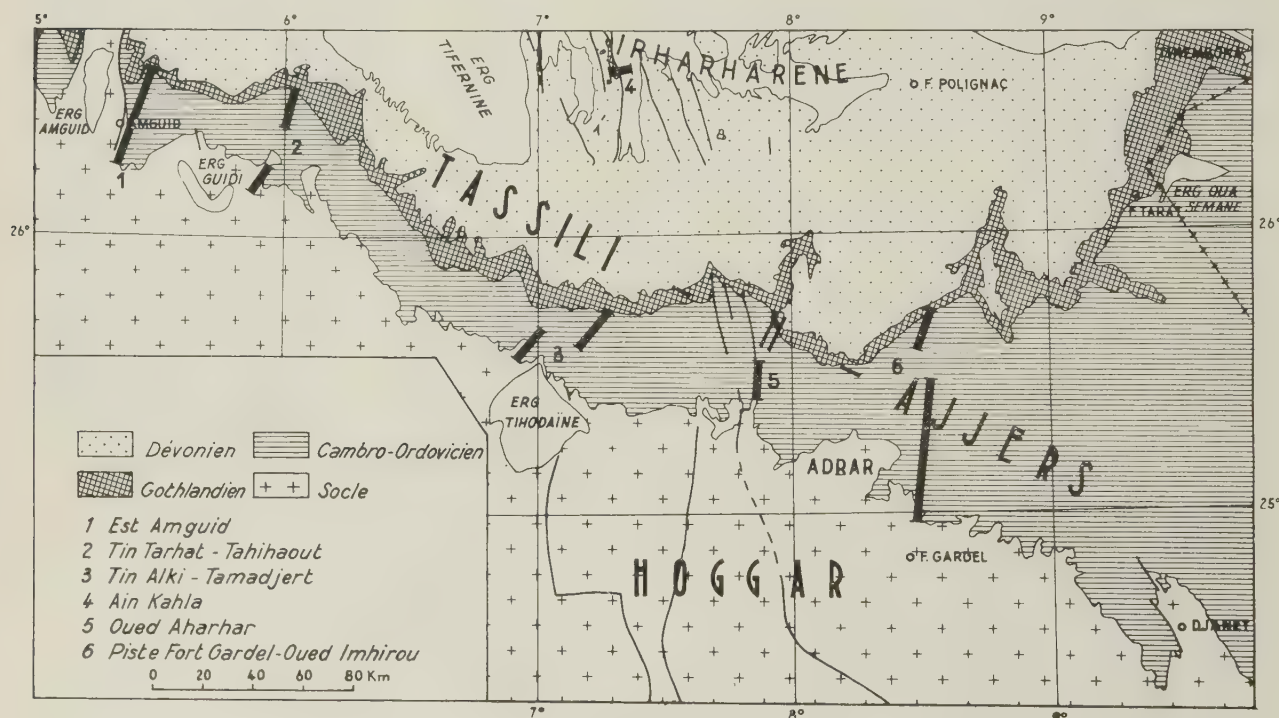


FIG. 1. — Carte géologique. Position des coupes.

coupes étudiées. La fig. 1 montre la position géographique des coupes.

1. SÉRIE STRATIGRAPHIQUE. — La série stratigraphique étudiée correspond exactement à

celle définie par les géologues des compagnies pétrolières lors de leur réunion de février 1959

* Note présentée à la séance du 19 juin 1961 et publiée avec l'autorisation de la Direction de la Compagnie d'exploration pétrolière (C. E. P.).

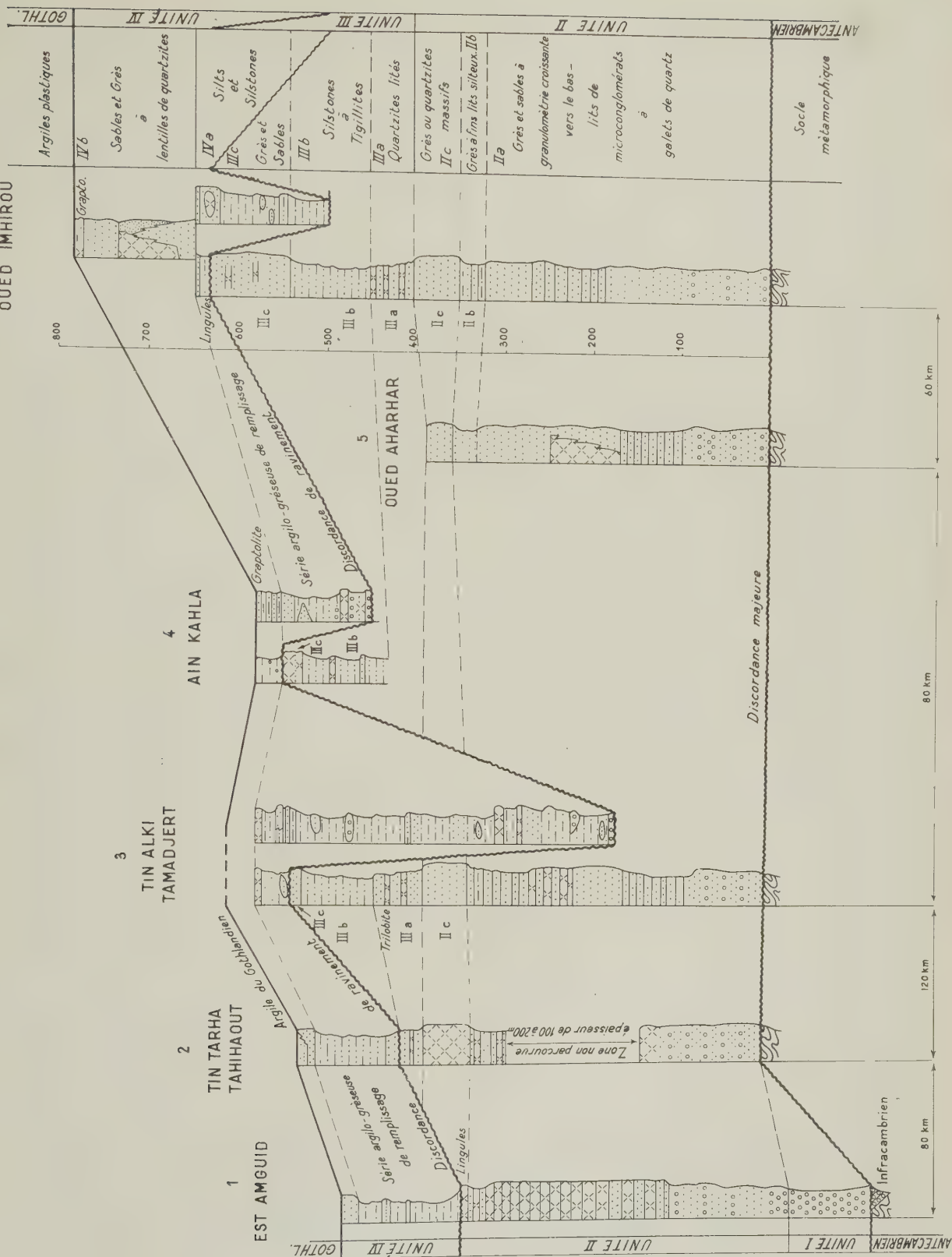


FIG. 2. — Corrélation des coupes du Cambro-Ordovicien du Tassili N'Ajjer.

à Alger¹. Aussi nous la résumerons rapidement, mentionnant simplement les faits nouveaux. Audessus du socle antécambrien et en discordance angulaire on trouve de bas en haut :

UNITÉ I (0 à 150 m) : dépôts cycliques de conglomérats probablement d'origine fluviale. C'est un ensemble localisé uniquement à la région d'Amguid et qui ne semble exister nulle part ailleurs entre Amguid et Djanet, c'est-à-dire sur plus de 500 km de ligne d'affleurement.

UNITÉ II (350 à 400 m) : grès et sables grossiers à conglomératiques s'affinant progressivement vers le sommet de la formation avec « cross bedding » de règle. Nombreuses traces, notamment des Tigillites et des *Vexillum*, parfois de grande taille², attestant l'origine marine du dépôt. Vers la région de Fort Gardel, l'apparition dans le sommet de la série d'un bref épisode légèrement argileux à nombreuses traces (Harlanias et Bilobites divers : *Rhizophycus*, *Fraena*, *Cruziana*, etc.), permet de subdiviser l'unité II en trois ensembles lithologiques dénommés à partir de la base A, B, C. L'ensemble C, massif, souvent quartzitique, forme une corniche, épaisse de 50 à 60 m, excellent repère dans tout le Tassili des Ajjers. C'est au sommet de l'ensemble C que l'on trouve les horizons à Lingules³ où l'on situe généralement la limite entre Cambrien et Ordovicien.

UNITÉ III (200 m environ) : ensemble grés-argileux de succession lithologique très constante sur l'ensemble des coupes, mais d'épaisseur très variable, car la limite supérieure est une limite d'érosion.

Au maximum de développement (coupe Fort Gardel-Oued Imirhou) on peut distinguer trois termes de bas en haut :

— III a : quartzites lités en bancs décimétriques à Tigillites abondantes et interstrates argileuses. Très nombreux niveaux corrodés, et hard grounds indiquant une nette instabilité de sédimentation.

— III b : silts et grès très argileux micacés à bancs quartzitiques. Cette zone a été individualisée par Chanut et Nyssen³ sous le nom de talus psammitique. On peut y établir des corrélations bancs à bancs sur de grandes distances. Elle présente une grande unité morphologique dans tout le Tassili. Tigillites, Bilobites et traces diverses abondent; quelques empreintes de Trilobites n'ont pu être déterminées.

Cette zone semble correspondre à une phase d'expansion maximale de la mer, et peut localement être transgressive sur tous les termes antérieurs jusqu'au socle (cas des forages dans les bassins nord-tassiliens).

— III c : sables parfois grossiers et grès argileux à Tigillites.

La limite de l'unité III étant une troncature d'érosion, dans les centres de bassins peuvent s'ajouter des termes supérieurs (fait constaté en sondages).

L'unité III est rapportée à l'Ordovicien inférieur et moyen³.

MOUVEMENT TECTONIQUE MAJEUR, se traduisant par l'établissement d'une topographie très accusée que nous étudierons en détail plus loin.

UNITÉ IV (0,50 m à 500 m) : ensemble argilo-gréseux complexe à niveau lenticulaire comblant un substratum très accidenté, ce qui explique les brusques variations d'épaisseurs et de faciès. Deux termes distincts de bas en haut :

— IV a : série argilo-gréseuse de comblement variant de 0,50 à plus de 400 m d'épaisseur. En règle générale, la série est essentiellement silteuse avec lentilles conglomératiques dans les zones de comblement maximal. Elle est grés-quartzitique dans les zones de comblement réduit et peut se limiter parfois à un banc de condensation de quelques centimètres d'épaisseur.

— IV b : série grés-quartzitique correspondant à une homogénéisation de la sédimentation, mais avec encore de notables variations d'épaisseur. Elle forme la surface structurale du Tassili disparaissant sous les argiles gothlandiennes à faune abondante du Llandovery moyen⁴.

La base de l'unité IV est datée Caradoc⁵. Nous avons trouvé dans le terme IV b, à Aïn Kakla et près de l'Oued Imirhou, *Monograptus decipiens* et *M. regularis* (zone 19 du Llandovery moyen). Il est donc probable que l'unité IV représente une série post-orogénique continue du Caradoc à la base du Llandovery moyen, période où une brusque montée du niveau marin (mouvement subsident ou eustatique) a provoqué dans la région des Ajjers un rapide changement de sédimentation. Dans le cas général, il y a passage sans transition des grès de l'unité IV aux argiles franches du Llandovery moyen. En certains points particuliers (zones hautes) ce même mouvement a conditionné une véritable « transgression gothlandienne » avec dépôt direct des argiles sur un terme quelconque antérieur (Libye-Djado).

2. ÉTUDE DES PHÉNOMÈNES DE RAVINEMENT.

— a) Généralités et caractères du ravinement. La présence d'une discordance « de ravinement » dans le Cambro-Ordovicien du Sahara a été signalée très souvent ces dernières années⁶. Dans le Tassili des Ajjers elle était connue aux deux extrémités de notre zone d'étude : à l'W d'Amguid³ et au NW de Fort Gardel⁵. Entre ces deux lieux distants de 400 km, on peut observer que la discordance de ravinement est un phénomène général, s'accusant en de nombreux points où elle est alors particulièrement visible et spectaculaire. L'ensemble des unités II et III a été

1. SOCIÉTÉS PÉTROLIÈRES DIVERSES (1959) : Contribution à l'étude du Cambrien et de l'Ordovicien du Sahara. C. R. somm. S. G. F., p. 194.

2. Espèces en cours d'étude par M. Lessertisseur.

3. CHANUT C. et NYSSSEN R. (1958) : Sur une discordance de ravinement dans les grès inférieurs de la région d'Amguid et de Takoumbaret. C. R. somm. S. G. F., p. 102.

4. REMACK-PETITOT M. L. (1960) : Contribution à l'étude du Gothlandien du Sahara. B. S. G. F., (7), III, p. 230-239.

5. BORROCO J. et NYSSSEN R. (1959) : Nouvelles observations sur les grès inférieurs cambro-ordoviciens du Tassili interne. B. S. G. F., (7), I, p. 197-206.

6. Bibliographie dans JOULIA F. (1959) : Précisions sur la discordance cambro-ordovicienne d'In Azaoua. C. R. somm. S. G. F., p. 177.

affouillé par un grand chevelu de paléodépansions que l'on voit actuellement, soit entièrement comblées par les dépôts de l'unité IV, soit partiellement ou complètement déblayées par l'érosion récente. Dans de nombreux cas, l'érosion récente s'est contentée d'exhumer l'ancienne topographie, conditionnant ainsi la présence dans le Tassili de grandes cuvettes facilement repérables sur les cartes méharistes au 200 000^e. Telles sont principalement les cuvettes de Dider, Tamedjert, Tahihaout, etc. L'étude de détail de ces paléodépansions montre qu'elles correspondent à des fragments de paléovallées dont on peut souvent observer les versants fossilisés par l'unité IV ou réutilisés dans la topographie actuelle. Un des cas les plus spectaculaires est celui de Tamedjert où se définit une paléovallée de direction N-S de 24 km de long et de 8 km de large à son extrémité sud. Au village de Tamedjert même, l'épaisseur du comblement de l'unité IV (donc la profondeur de la paléovallée) dépasse 400 m, ce qui implique qu'en ce point quelques dizaines de mètres seulement séparent cette unité du socle cristallin. Sur les bords de la paléovallée, les séries de l'unité IV se biseautent rapidement et en moins d'1 km passent de 400 à 35 m de puissance.

Il semble le plus souvent que les paléovallées principales aient une direction N-S avec approfondissement vers le Nord, ce qui situerait dans le Hoggar l'origine des anciens écoulements.

En outre, d'une manière générale, on constate dans le Tassili des Ajjers que les séries antérieures au ravinement sont les plus érodées dans les zones synclinales actuelles et demeurent plus complètes dans les zones anticlinales. Les paléo-

vallées se seraient donc établies préférentiellement dans la préfiguration des synclinaux actuels.

b) *Interprétation des phénomènes de ravinement.* De tous ces faits d'observation se dégage l'intervention d'une phase tectonique importante ayant conditionnée l'émersion de la région des Ajjers et l'installation d'un réseau hydrographique très développé. Cette phase est datée comme précaradocienne par les découvertes de faunes de J. Borroco ⁵, se rattachant ainsi aux mouvements tectoniques *l. s.* Sauf cas local (Djebel Tan Elak ⁷), son influence a été d'ordre épirogénique, emmenant l'émersion sans plissement important. Sur ces zones peu structurées, l'érosion a été conforme, c'est-à-dire établie suivant les directions synclinales, ébauches des synclinaux actuels. L'importance de cette érosion, qui parvint à dégager de larges vallées de plus de 400 m de profondeur, ne semble pouvoir s'expliquer que par l'effet d'un phénomène d'encaissement du système hydrographique, conséquence de la continuation du mouvement de surrection. Ultérieurement, le relief formé a été comblé par les dépôts argilo-gréseux de la transgression caradocienne auxquels font suite en continuité de sédimentation les argiles du Llandovery moyen, indices d'un rapide mouvement subsident ou d'une variation eustatique positive. Cette dernière s'accorderait bien avec l'homogénéité du faciès argileux du Llandovery moyen et son extension à tout l'ensemble saharien.

7. CLARACQ P., FABRE C., FREULON J. M. et NOUGAREDE F. (1958) : Une discordance angulaire dans les grès inférieurs de l'Adrar Tan Elak. *Ibid.*, p. 309.

Sur la présence de galets éoliens dans le complexe de base de l'Adrar mauritanien

par Marie-Odile BONGRAND, René DARS et Jean SOUGY*.

Sommaire. — Des galets à façonnement éolien ont été trouvés à la base de formations gréseuses infracambriennes de l'Adrar mauritanien. Ils confirment l'existence de conditions désertiques (*paléoregs*) à cette époque et conduisent à envisager la possibilité d'une nouvelle discordance dans la partie inférieure du « complexe de base ».

Dans la région d'Atar, Th. Monod [1952], qui a établi la stratigraphie de l'Adrar mauritanien,

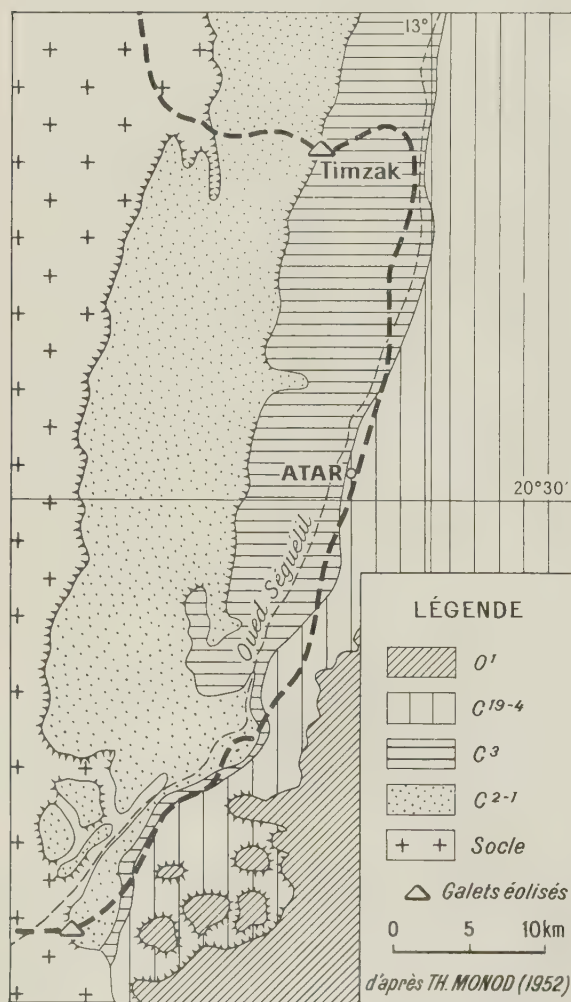


FIG. 1. — Croquis géologique de la région d'Atar.

distingue sur le socle antécambrien de l'Amsaga (fig. 1), de bas en haut :

- le complexe de base (niveaux C_1 à C_{19}) ;
- les grès du Dhar *lato sensu* ou « Grès inférieurs » ;
- les schistes intra-tassiliens (Gotlandien *pro parte*).

Ces trois formations constituent le Cambro (?) - Silurien. Plus récemment on en a attribué la base, au moins jusqu'au C_{11} , à l'Infracambrien (P. Michoud et M. Gramont¹, 1959 ; Th. Monod [1960] ; M. Zimmermann [1960]). L'ensemble du Cambro-Silurien est considéré comme marin.

Cependant la grande abondance de grains de quartz ronds-mats, dans de nombreux niveaux, avait incité, dès 1942, Th. Monod et A. Cailleux à considérer que des actions éoliennes importantes s'exerçaient sur les continents voisins des lieux de sédimentation.

Deux coupes, étudiées à la passe de Timzak et à celle de l'Oued Séguélil, nous ont permis de noter la présence de galets éoliens dans la partie inférieure du complexe de base.

I. DESCRIPTION DES COUPES. — 1. *Coupe de la passe de l'Oued Séguélil* (fig. 2 A). Le long de la piste qui joint Atar à Akjoujt on peut observer la coupe suivante dans la descente vers l'Oued Séguélil :

4. grès blanc à grain moyen 3 m visibles
3. conglomérat gréseux à galets de roches du socle et de quartz, parfois à facettes 0,10 à 0,20 m

* Lab. de Géologie, Fac. des Sc., Dakar. Note présentée à la séance du 8 mai 1961.

1. Nous remercions vivement les géologues de la Société africaine des pétroles (S. A. P.) pour les renseignements qu'ils nous ont aimablement communiqués.

2. argile micacée et feldspathique bario-
lée..... 0,20 m
1. socle altéré.

Suivant Th. Monod [1952, p. 48], nous avons ici le contact du C_1 (Grès d'Aguéni) sur le socle antécambrien de l'Amsaga.

Le socle est très altéré, riche en chlorite. A. Blanchot [1955, p. 102] décrit ici des « mylonites très altérées, d'origine indéterminable » du système de l'Amsaga. La carte Atar-Est au 500 000^e indique régionalement la présence d'orthogneiss à biotite.

Le conglomérat est à ciment gréseux. Les galets des roches du socle sont peu roulés en général et comportent des galets à facettes.

Les grès du niveau 4 sont blancs à grain moyen. Ils montrent par endroits de faibles stratifications entrecroisées.

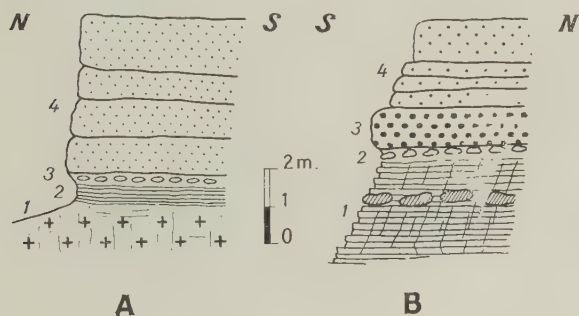


FIG. 2. — Coupes.

A : passe de l'O. Séguénil. — B : passe de Timzak.

2. *Coupe de la passe de Timzak* (fig. 2 B). Le contact entre les schistes d'Azougui (C_2) et les grès de Foug Chor (C_3) s'observe bien le long de la piste qui relie Atar à Fort-Gouraud, près de la butte-témoin de Timzak. La coupe est la suivante :

4. grès argilo-siliceux de Foug Chor en bancs de 10 cm à 1 m de puissance.
3. conglomérat gréseux 1 m environ
2. zone de schistes altérés se terminant par un conglomérat argileux à galets de quartz, parfois à facettes et alors reposant sur leur base. Cette zone montre à la base des nodules ferrugineux concrétionnés 1,50 m
1. schistes argileux micacés, violacés, d'Azougui.

II. ÉTUDE DES CONGLOMÉRATS. — A) *Conglomérat de la passe de l'Oued Séguénil* (fig. 1 et 2 A).

1. *Le ciment*. Il est gréseux. Les grains de quartz sont en grande majorité du type « rond-mat sale » [Cailleux, 1942]. Dans leur description

morphoscopique des grès du complexe de base, A. Cailleux et Th. Monod [1945, p. 177] ont montré que ce type était représenté dans des proportions pouvant atteindre 82 %. Les grains de quartz du ciment sont unis par une mince épaisseur d'argile mêlée de produits ferrugineux.

2. *Les galets*. En général ils sont mal roulés. Ils peuvent être constitués par des roches du socle mais en majorité ce sont des galets de quartz. Quelques-uns d'entre eux montrent des facettes bien individualisées. Un de ces galets typiques est représenté fig. 3 b et 4 b. Il atteint 3 cm dans sa plus grande dimension.

La base assez régulièrement usée est surmontée par quatre facettes qui traduisent une régularisation avancée de la surface du galet. Les arêtes de ces facettes sont émoussées et leur tracé planimétrique est sensiblement rectiligne. Ce galet a été emprisonné dans une gangue ferrugineuse qui a déposé en surface une légère couche d'hydroxyde ferrique. On ne peut donc observer la surface nettoyée en totalité. Ce qu'on en voit la révèle lisse et luisante.

Un autre galet, représenté fig. 3 c et 4 c, a une surface moins régulière. Il montre cependant trois facettes nettement exprimées et les arêtes sinueuses ont un point d'inflexion.

Ces deux galets sont, suivant les critères d'A. Cailleux [1942, p. 58], d'origine éolienne certaine. Il est important de noter qu'ils sont en place : ils n'ont pas été sensiblement dérangés depuis leur façonnement par le vent, leur mode de gisement est constant et ils reposent sur leur base. D'autres galets typiques ont été collectés. L'un d'eux représente presque exactement la forme décrite par J. de Heinzelin [1952, fig. b, pl. I] dans la région de Yangambi.

B) *Les conglomérats de la passe de Timzak* (fig. 1 et 2 B).

1. *Le conglomérat argileux*. Il constitue la partie terminale des schistes micacés d'Azougui (C_2). On y observe des galets mal roulés, en majorité de quartz. Le plus caractéristique de ces galets à facettes, en quartz translucide (fig. 3 a et 4 a) y a été découvert, dans sa position naturelle, par un de nos étudiants, Fall Malick. Ses dimensions sont $68 \times 54 \times 33$ mm.

La base cupulée (fig. 3 a 2) est surmontée de quatre facettes à arêtes émoussées et sinueuses montrant parfois un point d'inflexion. Le bord inférieur du galet est arrondi (fig. 3 a 3). Les facettes sont lisses et luisantes.

D'autres galets montrant un début de régularisation ont été également collectés mais aucun n'atteint la netteté de l'échantillon décrit ci-dessus.

Ici aussi nous nous trouvons en présence de galets éoliens *certain*s. Notons qu'il a été observé quelques échantillons dont la face inférieure vierge de toute usure, indique qu'ils n'ont pratiquement pas bougé pendant la période de façonnement éolien [A. Cailleux, 1942, p. 43].

2. *Le conglomérat gréseux.* a) *Le ciment.* Il est

gréseux. Les grains de quartz sont en majorité du type « rond-mat sale ». Une mince pellicule argileuse et ferrugineuse réunit les grains de quartz.

b) *Les galets.* Ils sont mal roulés. En majorité ce sont des galets de quartz mais on observe également des fragments de jaspe et de roches du socle.

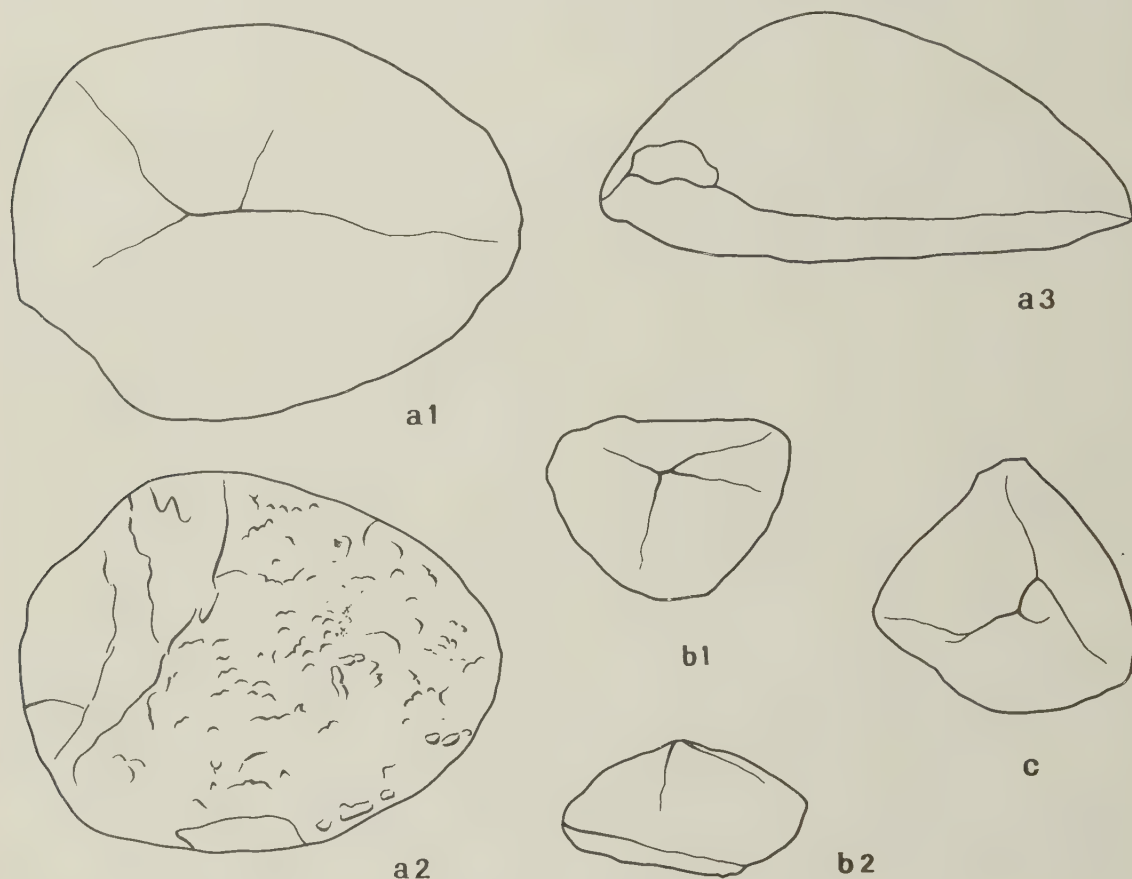


FIG. 3. — Galets à façonnement éolien. $\times 1$.

Voir légende de la fig. 4.

III. LA ZONE DE NODULES FERRUGINEUX DE LA PASSE DE TIMZAK. — Sur toute la longueur de l'affleurement de la passe de Timzak, dans la partie supérieure altérée des schistes d'Azougui, à 1,50 m environ sous le sommet du conglomérat argileux à galets éoliens, s'observent des nodules ferrugineux, lenticulaires, dont la plus grande dimension (horizontale) atteint 30 à 40 cm. Ils sont denses et présentent un léger magnétisme.

Au microscope on distingue de nombreuses taches, de 300 à 400 μ de diamètre en moyenne, d'un minéral opaque, gris en lumière réfléchie, fréquemment altéré en oligiste et peut-être en

goethite. Ces taches ferrugineuses sont plus ou moins abondantes dans un ciment quartzophylliteux (quartz microcristallin et hydromicas) où s'observent également quelques rares quartz détritiques de dimensions inférieures à 200 μ .

L'étude aux rayons X (par le laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences de Strasbourg) d'un de ces nodules ferrugineux, a montré que le composant principal est l'oligiste suivie du quartz. La présence de goethite est possible, mais n'a pu être prouvée sur l'échantillon brut. La nature du minéral opaque, gris en lumière réfléchie, à qui semble dû le léger magnétisme,



FIG. 4. — Galets à façonnement éolien. $\times 1$.

a, d et e : contact entre les schistes d'Azougui (C_2) et les grès de Foun Chor (C_3) ; passe de Timzak, 23 km au N d'Atar (Adrar mauritanien). (*a 1, d et e* : vue apicale ; *a 2* : vue de la face inférieure ; *a 3* : vue de profil.)

b et c : contact entre le socle précambrien de l'Amsaga et les grès infracambriens (C_1 ou C_3 ?) ; passe de l'Oued Séguélil, 33 km au SSW d'Atar (Adrar mauritanien). (*b 1 et c* : vue apicale ; *b 2* : vue de profil.)

Phot. Mémin, lab. de Géol., Ec. normale sup. Paris.

n'a pu être déterminée avec certitude. L'analyse chimique et l'étude thermomagnétique en cours permettront peut-être d'éclairer le problème.

CONCLUSIONS. — 1) Les galets éoliens, remarquablement étudiés par J. Bourcart [1928] et par A. Cailleux [1942] dans les terrains périglaciaires de l'Europe, ont rarement été signalés dans les formations antérieures au Quaternaire.

En ce qui concerne les terrains précambriens et paléozoïques inférieurs d'Europe, K. Bryan [1931] signale les galets éoliens du Cambrien de Lugnäs (Westergötland, Suède) découverts par A. G. Nathorst en 1885, ceux du Torridonien d'Écosse décrits par J. G. K. Goodchild en 1898. En outre A. Cailleux [1942] a étudié les galets éoliens des grès précambriens de Gävle (Svealand, Suède) signalés par A. Hadding en 1929.

Depuis l'inventaire dressé par A. Cailleux [1942], on a également signalé des galets éoliens dans le Permien des Rouchoux, à l'W du Pelvoux [Moret et Debelmas, 1954], et dans le Quaternaire d'Auvergne à Brassac [Didier, 1954, 1955], ces derniers étant vraisemblablement liés à la glaciation wurmienne ou à sa période de retrait.

En Afrique centrale, V. Van Straelen [1941] a décrit des galets éoliens dans le Pléistocène de la région de Yangambi, J. Mortelmans [1946] a étudié ceux de la série des grès polymorphes tertiaires du Katanga (système du Kalahari), J. Lepersonne [1948] en a observé dans la série du Kwango, d'âge crétacé [Furon, 1960], enfin J. de Heinzelin [1952] a repris l'étude des galets éoliens du secteur nord-oriental du bassin du Congo. A notre connaissance il n'avait pas encore été signalé de galets éoliens dans les formations paléozoïques africaines.

La présence de tels galets dans les formations inférieures, infracambriennes, du complexe de base de l'Adrar mauritanien vient confirmer l'hypothèse de l'existence de conditions désertiques avant ou pendant le dépôt de ces formations marines [Monod et Cailleux, 1942 et 1950; Menchikoff, 1949]. Notons avec J. de Heinzelin [1952, p. 132] que le diagnostic de « désert » exprime essentiellement un sol dénudé soumis à une forte emprise éolienne et ne préjuge pas du climat. En effet, on connaît actuellement des

déserts sous toutes les latitudes et, comme le dit cet auteur, « il existe aujourd'hui à la surface de la terre des déserts tropicaux entièrement chauds et secs (Sahara), des déserts de plateaux d'altitude (Thibet), des déserts steppiques (Asie intérieure), des déserts côtiers (côte de Mozambique), des déserts tempérés, froids et humides (Islande), des déserts de bordure glaciaire (Alaska, Groenland) ».

2) L'altération du socle de l'Amsaga, à la passe de l'Oued Séguélil, comme au N de Timzak, est ancienne et vraisemblablement antépaléozoïque; celle des schistes d'Azougui, à la passe de Timzak, est paléozoïque. Les nodules ferrugineux de la passe de Timzak semblent résulter de l'induration d'imprégnations ferrugineuses dans un horizon pédologique. Ces zones altérées représenteraient donc des *paléosols*. La présence de galets éoliens, n'ayant vraisemblablement pas été déplacés depuis leur façonnement, permet même d'avancer l'hypothèse de *paléoregs*.

3) Ceci conduit à conclure à l'existence de régions émergées soumises à des conditions désertiques avant le dépôt des grès de la passe de l'Oued Séguélil (grès d'Aguéni, C₁) et avant celui des grès de Fom Chor (C₃), donc à l'existence de deux paléoregs d'époques différentes. Pour Th. Monod (*in litt.*) et pour R. Trompette (*verb.*) cette hypothèse, qui respecte l'interprétation stratigraphique actuelle, est la plus vraisemblable.

Sinon il faut admettre qu'à la passe de l'Oued Séguélil, le niveau attribué au C₁ est en réalité du C₃ directement transgressif sur le socle de l'Amsaga comme il l'est plus au Nord sur les schistes d'Azougui (C₂) et sur les grès d'Aguéni (C₁). A l'appui de cette idée, notons qu'un peu au N de Timzak, à l'E de Tenachfoul, le conglomérat à la base du C₁ ne nous a pas livré de galets éoliens; d'autre part, à la passe de l'Oued Séguélil, les grès qui reposent sur le socle de l'Amsaga n'ont pas le faciès « malachite » assez habituel du C₁. Il y aurait alors un seul et même niveau à galets éoliens. Cette idée de transgression du C₃, traduisant une discordance interne dans l'Infracambrien, a d'ailleurs déjà été envisagée par les géologues de la Société africaine des pétroles.

Bibliographie.

- BLANCHOT A. (1955). — Le Précambrien de Mauritanie occidentale (esquisse géologique). *Bull. Dir. Mines A. O. F.*, n° 17, 311 p., 44 fig., 30 pl., 7 cartes.
- BOURCART J. (1928). — L'action du vent à la surface de la terre. *Rev. Géogr. phys. et Géol. dynam.*, t. I, pp. 26-54 et 194-263, 26 fig., 4 pl., 136 réf. bib.
- BRYAN K. (1931). — Windworn stones or ventifacts. A discussion and bibliography. Report of the Committee on sedimentation 1929-1930. National Research Council Reprint and Circular, n° 98, p. 29-50, Washington D. C.
- DIDIER J. (1954). — Le bassin houiller de Brassac et ses bordures cristallines. *Rev. Sc. nat. Auvergne*, fasc. 1-2, 48 p., 4 fig.
- (1955). — Découverte de galets éoliens à Brassac (Puy-de-Dôme). *C. R. somm. S. G. F.*, p. 69-70.
- FURON R. (1960). — Géologie de l'Afrique. Paris, Payot, 2^e édit.
- HEINZELIN J. DE (1952). — Sols, paléosols et désertifications anciennes dans le secteur nord-oriental du Bassin du Congo. Bruxelles, I. N. E. A. C., 168 p., 52 fig., 12 tabl., abondante bibliographie.
- LEPERSONNE J. (1948). — Présentation d'un galet éolisé provenant de la base de la série du Kwango, au Congo occidental. *Bull. Soc. belge Géol.*, t. LVII, p. 406-407.
- MENCHIKOFF N. (1949). — Histoire géologique du Sahara. *Ann. Hébert Haug*, t. VII, p. 303-325, 1 carte.
- MONOD Th. (1952). — L'Adrar mauritanien. *Bull. Dir. Mines A. O. F.*, n° 15, 2 t., 452 p., 71 fig., 50 pl., 3 cartes, 7 appendices.
- (1960). — Remarques sur la stratigraphie de la falaise d'Hamdoun-Aguinjob (Adrar de Mauritanie), *Bull. IFAN*, Dakar, p. 1-18, 6 fig.
- MONOD Th. et CAILLEUX A. (1942). — Ancienneté des actions désertiques dans le Sahara occidental. *C. R. Ac. Sc.*, t. 215, p. 362-363.
- (1945). — Étude de quelques sables et grès du Sahara occidental. *Bull. IFAN*, Dakar, p. 174-190.
- (1950). — Sur les conditions désertiques anciennes au Sahara. *Ibid.*, p. 530-531.
- MORET L. et DEBELMAS J. (1954). — Contribution à la connaissance du Permien des zones externes des Alpes françaises : le Permien d'Entraigues et des Rouchoux (massif du Pelvoux). *C. R. Ac. Sc.*, t. 239, p. 1015-1018.
- MORTELMANS G. (1946). — Sur la présence au Katanga central de cailloux éolisés dans le conglomérat de base des « grès polymorphes ». *Bull. Soc. belge Géol.*, t. LV, p. 220-227.
- VAN STRAELEN V. (1941). — A propos de l'existence de galets éoliens sous le sol en un point de la forêt équatoriale congolaise. *Inst. roy. col. belge, Bull. scient.*, t. XII, 1, p. 82-91.
- ZIMMERMANN M. (1960). — Nouvelle subdivision des séries antégothlandiennes de l'Afrique occidentale (Mauritanie, Soudan, Sénégal). *Rep. 21th sess. intern. geol. Congr. Norden*, part VIII, p. 26-36, 3 fig.



Fallon

1889-1960

Paul FALLOT

(1889-1960)

Sa vie. — Son œuvre

par Michel DURAND DELGA *.

UN PORTRAIT.

Il est de grands savants. Il est de nobles caractères. Paul Fallot a été l'un et l'autre : le cas est assez exceptionnel pour être souligné. A ce titre, en un siècle où les notions d'intérêt et de jouissance étouffent progressivement les principes d'honneur et de labeur, la vie de Paul Fallot est un magnifique exemple.

Ses traits majeurs, l'énergie et le sens du devoir, furent sans doute accusés, héréditairement, par ses origines aux Marches de l'Est. Il naquit le 25 juin 1889 à Strasbourg, où sa mère alsacienne était, à cette occasion, venue parmi les siens. La famille Fallot, elle, était franc-comtoise. Son père, primitivement industriel dans le Doubs, à Valentigney, se retira tôt des affaires pour s'établir à Lausanne avec sa famille. C'est là, sur l'admirable belvédère de Rovéréaz, qu'au bord du Léman, face aux Alpes, le jeune Paul Fallot passa, avec son frère Pierre, son enfance, près de son père qu'il respectait, et de sa mère qu'il affectionnait.

Il y reçut une éducation raffinée, dans un milieu où la science et l'art étaient en honneur. Dans la grande salle de musique de l'édifice construit sur les plans de son père, se succédaient les grands musiciens de l'époque. Ne nous étonnons pas d'apprendre que, dès son plus jeune âge, à neuf ans, il participait au quatuor à cordes familial.

Féru de science, son père aida — dès ses quatorze ans — une inclination déjà vive pour l'histoire naturelle. Il lui fit suivre de 1905 à 1907 l'enseignement d'information générale — embrassant une douzaine de branches — que dispensait le gymnase scientifique de Lausanne et qui représentait une combinaison entre la fin du cycle secondaire de type français et le début de notre cycle supérieur. Paul Fallot obtint ainsi,

avec des notes exceptionnelles, le diplôme de « Bachelier ès Sciences ». Sur cette base solide, voici le géologue qui apparaît.

Nous sommes en 1908 : Maurice Lugeon, déjà illustre bien qu'il n'ait pas atteint la quarantaine, occupe la chaire de Géologie de l'Université de Lausanne. Son petit laboratoire est situé à l'entresol du palais de Rumine : Argand, Jeannet, Boussac, M^{me} Jérémiane, d'autres, tels sont les aînés que le jeune Fallot y rencontre. C'est une période d'intense activité créatrice : après avoir réalisé la synthèse des nappes préalpines, Lugeon s'attaque à la structure de l'édifice alpin tout entier. Malgré sa froideur, fruit d'une grande timidité, et masque d'une intense vie intérieure, Paul Fallot n'échappe pas à cette extraordinaire ambiance : suivant les courses géologiques en montagne, il apprend à observer soigneusement, à dessiner avec rigueur le contour géologique, à s'acharner sur les pentes drapées de Glaciaire. Ses qualités naturelles, jusqu'alors sous-jacentes, s'épanouissent sous l'autorité amicale du « Patron », avec lequel, sa vie durant, il conservera d'étroites et cordiales relations.

Quelques lignes de Lugeon, écrites beaucoup plus tard, en 1937, témoignent de l'appréciation du Maître sur son disciple : « Il m'avait frappé par son enthousiasme, par sa prédisposition pour la géologie, par son ardeur au travail. [Lors de courses sur le terrain] j'ai pu juger de la valeur de ses dons admirables d'observation [...]. J'en avais conclu que ce jeune chercheur deviendrait une des gloires scientifiques de son pays. » Et l'on ne s'étonne pas de voir son admission à notre Société, fin 1908, parrainée par Lugeon et par Argand.

* Notice lue à la séance du 5 juin 1961.

En 1909, Paul Fallot part pour Grenoble afin d'acquérir les certificats de la licence française de Sciences naturelles. En même temps, il commence à faire œuvre personnelle. Il s'établit dans le nouveau laboratoire de la rue Très Cloîtres, que dirige Wilfrid Kilian, maître de la stratigraphie paléontologique, auquel le jeune homme sera vite attaché par les liens « du respect, de l'admiration et de la gratitude ». Ici encore, règne une magnifique ambiance. Autour du chef de laboratoire est groupée une équipe ardente, littéralement lancée à l'assaut des faunes crétacées du domaine alpin : « la ruche dauphinoise » pour reprendre le terme de Charles Jacob, aîné et ami de Paul Fallot, sur lequel il exerça une forte influence.

Encore étudiant, ce dernier est ainsi initié aux techniques de détermination précise. Sa première publication — il n'a pas vingt et un ans ! — est une importante monographie sur des Ammonites pyriteuses du Gault des Baléares, dont le capitaine Nolan avait fait don au laboratoire de Grenoble. A la lecture de ce mémoire, l'on est frappé par la maturité d'esprit de son auteur, par sa netteté de pensée et d'expression. Notre confrère, le général Collignon, a souligné ailleurs combien Fallot, ici et dans ses autres ouvrages de paléontologie pure, a fait preuve d'une remarquable maîtrise. Ce souci paléontologique, il ne le perdra jamais, s'acharnant à dater d'une manière aussi précise que possible les assises les plus rétives à livrer leurs fossiles !

Ainsi en possession, grâce à des maîtres éminents, des principes et des techniques de la tectonique et de la paléontologie, Paul Fallot n'est point encore satisfait. Durant l'année universitaire 1910-1911, il va fréquenter à Paris, où il termine sa licence, le laboratoire de Géologie de la Sorbonne, où règne Émile Haug. Autre grand maître dont les substantiels enseignements élargirent le cercle de ses connaissances dans les domaines de la géologie générale et de la stratigraphie. En outre, il s'informe des choses et des gens. De la Société géologique de France, il fréquente les séances. Il nous les a décrites. Comment ne pas soupirer en songeant au nombre et à la qualité des grands maîtres d'alors ! Le jeune Paul Fallot voyait, du fond de la salle, « le terrible premier rang », qu'occupaient Auguste Michel-Lévy, Henri Douvillé, Pierre Termier, Émile Haug, Alfred Lacroix et tant d'autres derrière eux... Devant l'exemple que donnaient de tels hommes, comment ne pas sentir son ardeur décuplée ?

Voici venu, pour Paul Fallot, le moment du

choix de son sujet d'études. Sa famille possède une substantielle aisance. Il peut voyager. Au printemps 1911, une croisière de la *Revue générale des Sciences* l'amène en Méditerranée orientale, et c'est l'occasion d'une intéressante note sur la structure de Rhodes. Mais l'Espagne l'attire par « mille attraits subtils épars, dans la pureté de l'air, dans la caresse de la Méditerranée, et dans l'harmonie du sol » : elle restera sa terre de prédilection. L'enseignement de Lugeon — et ses évocations de la courbure occidentale des chaînes alpines — les faunes baléares dont Kilian lui confia l'étude, voici sans doute les faits déterminants qui lui font entreprendre son travail de thèse sur Majorque. Trois missions, en 1911, 1913 et 1914 — en 1912, il accomplit son temps de service militaire — lui sont d'abord consacrées.

*
* *

1914. — La tourmente arrive. Patriote ardent, Paul Fallot considère comme un devoir absolu de défendre le pays de ses pères. Réformé n° 2, il obtient de partir, le 14 septembre, comme soldat de 2^e classe au 113^e régiment d'Infanterie. Il participe à tous les combats de cette unité (Argonne, Haute Chevauchée, ...) en 1915 et au début de 1916, comme soldat, caporal puis sergent. Promu au feu sous-lieutenant, il est affecté comme officier de renseignements au 28^e bataillon de Chasseurs alpins dont il partagera le sort de novembre 1916 jusqu'en août 1918 (affaires de Plateau Californie, de la Gargouse, de la Malmaison, ...). La conduite exemplaire du jeune officier se traduit par cinq citations à sa Croix de guerre et par la Croix de la Légion d'honneur. Ses citations le qualifient d'« observateur d'élite », ne ménageant jamais sa peine, au mépris de tous les dangers. Plus tard, à l'été 1918, lieutenant à l'état-major du général Messimy (162^e division d'Infanterie), le voilà devant Soissons, puis dans les Vosges, et enfin à l'état-major du 3^e Corps d'armée. Il a la joie de participer à la rentrée des troupes françaises dans sa ville d'origine, Strasbourg.

La « Grande guerre » s'est traduite pour Paul Fallot par de dures épreuves, qu'une noble inscription rappelle au début de sa thèse. Son ami intime, Jean de Barrau, secrétaire du duc d'Orléans, dont les convictions religieuses et politiques ont guidé les siennes, a été tué en 1914. Le sergent Jean Boussac, professeur à l'Institut catholique de Paris, pour lequel il avait une grande et affectueuse admiration, est tombé à Verdun.

Voilà qui explique le « nationalisme intellectuel » que Paul Fallot pratiquera toute sa vie ; ce terme recouvre d'ailleurs un contenu étonnamment semblable à celui de la célèbre phrase de Pasteur « la science n'a pas de patrie, mais le savant en a une ». Il nous livrera, dans la *Revue fédéraliste* (mai 1923), sa pensée sur ce point : « Nous sommes Français ; c'est un fait hors de discussion. Nous devons l'être avec intransigeance, considérant toutes les questions non par rapport à nos goûts ou à notre intérêt, mais par rapport à l'intérêt de la France. » Et, plus loin, après avoir célébré le rôle créateur des Français dans la science tectonique, il écrit en phrases, qui ne resserrent point, mais élargissent sa vue : « S'il est ainsi des branches de l'activité humaine où nous réussissons mieux que nos voisins, il en est d'autres où nous avons beaucoup à profiter de l'apport intellectuel des nations étrangères [...]. Il serait indigne et maladroit de nous priver de la part de cette connaissance qui viendrait d'Allemagne, par exemple. » Phrases dignes du savant pur, du citoyen exemplaire qu'il restera toute sa vie.

*
* *

À sa démobilisation, en août 1919, Paul Fallot a trente ans. Kilian le prend comme préparateur : c'est son entrée dans les cadres universitaires.

Il se précipite immédiatement sur les Baléares : deux campagnes d'été, cette année-là puis la suivante, lui permettent, au prix d'un labeur acharné, de compléter ses missions d'avant la guerre. Celle-ci l'a toutefois empêché de réaliser le grand dessein initial : l'étude de tout l'archipel. Il a limité son enquête détaillée à la Sierra septentrionale de Majorque, tout en la remplaçant dans le cadre d'ensemble, en utilisant ses itinéraires dans le reste de la Grande Baléare, sa cartographie d'Ibiza et le fruit d'un voyage à Minorque. Ses beaux levers de détail couvrent la surface de trois feuilles au 50 000^e, qu'il fit éditer — comme sa monumentale thèse de Doctorat — intégralement à ses frais ; de même ses missions n'avaient été possibles que grâce à l'aide de sa famille.

L'on ne peut qu'admirer cette Somme, riche-ment illustrée, dans laquelle Paul Fallot ne néglige aucune des facettes de la géologie : morphologie, tectonique, stratigraphie, paléontologie, microfaciès — déjà ! Les moindres détails — dont tel ou tel ne pourra prendre son sens que

longtemps après — y sont mentionnés et figurés. Mais, sur chaque chapitre, l'auteur élève sa vision et, de très haut, replace les problèmes dans le cadre paléogéographique général, qu'une lecture attentive et exhaustive des publications antérieures lui permet de broser. Ces méthodes, il les conservera toujours, jusqu'à la fin de sa longue œuvre.

À Majorque — comme partout où il passe — Paul Fallot sait unir l'étude géologique à la vision de l'artiste, que traduit une langue pure. Dirigeons, avec lui, le regard d'un des toits de Palma, sur cette Sierra objet de ses recherches : ses chaînons parallèles sont « autant de vagues de pierres jaillies de la plaine et qui s'alignent pressées, s'élevant à l'assaut de quelque obstacle formidable, déjà déferlantes vers le Nord-Ouest, et figées dans un élan immobile et puissant qui paraît menacer le ciel ». Telle est l'évocation imagée des écaïlles imbriquées de la Sierra nord de Majorque. Il distingue trois unités essentielles.

La série I, inférieure, montre, au long de la « Costa brava » majorquine, un Trias complet, du Jurassique et, en discordance, un Burdigalien transgressif, riche en conglomérats. La série II la surmonte, parfois par l'intermédiaire de lames de charriage : elle comporte un épais Trias calcaro-dolomitique, des calcaires du Lias inférieur, des horizons à Céphalopodes du Lias supérieur, du Dogger, du Tithonique, un Crétacé complet du Valanginien au Gault et, en discordance, une série détritique probablement oligocène.

La série III, plus méridionale, analogue à la précédente, la surmonte tectoniquement. Il s'y accole, plus à l'Est, le massif d'Alcudia, qui possède une individualité structurale par rapport aux précédentes unités.

Ces écaïlles — sans flanc renversé — se suivent sur 90 km du Sud-Ouest au Nord-Est, tout au long de la Sierra. D'après la seule position des fenêtres, la série II chevauche son substratum d'au moins 12 km, et la série III recouvre la précédente de plus de 10 km, à l'Ouest de la chaîne. Le problème de l'enracinement de ces nappes, qui ne diffèrent guère par les faciès de leurs constituants (sauf le massif d'Alcudia), ne peut être résolu, car le pied méridional des reliefs est couvert par la grande plaine quaternaire. Par prudence, P. Fallot envisage un resserrement de l'ordre de 35 à 40 km.

Cette thèse apporte d'innombrables faits stratigraphiques nouveaux, et parmi eux : l'existence de fossiles remaniés de tout le Jurassique supérieur dans les fausses brèches rouges de la base du Tithonique ; une fine stratigraphie des marno-calcaires et marnes à Ammonites du Crétacé

(Berriasien à Albien) ; le repos, directement sur le Crétacé, d'assises ligniteuses à *Lychnus* et *Anthracotherium*, de la base de l'Oligocène, surmontées de calcaires et poudingues à Nummulites ; la présence de Miocène inférieur, marin, impliqué dans les chevauchements.

La monographie de Paul Fallot s'achève par une « Introduction à l'étude de la Méditerranée occidentale ». A peine âgé de trente-trois ans, le voici qui annonce la grande œuvre à laquelle il va consacrer le reste de son existence. Il dépeint ainsi l'esprit qui guide son dessein : « la synthèse tectonique en soi, isolée des autres considérations géologiques, tend à ne devenir qu'un simple jeu de l'esprit comme l'est, par exemple, l'étude de la géométrie non euclidienne. Mais il ne faut point oublier que, si le mathématicien a le devoir de s'échapper, dans certains cas, des contingences matérielles, le naturaliste doit, au contraire, demeurer étroitement en contact avec elles, sous peine de manquer à sa mission. Pour que nos travaux ne nous entraînent pas en plein irréel, il faut que nous n'oublions pas l'obligation, où nous vaut la complexité de tous les problèmes, de recourir à chaque pas au recoupement de nos conceptions tectoniques par des observations stratigraphiques et par l'étude de la paléogéographie ».

Et voici ces phrases, pleines de modestie, et que feraient bien de méditer tels qui se croient arrivés au bout de la Science : « Il faut, le plus souvent, appliquer prosaïquement la méthode des approximations successives. Les créateurs de la tectonique ont vécu la phase des grandes synthèses. Notre rôle est maintenant de réajuster les conceptions tectoniques aux faits stratigraphiques, et de préparer ainsi une nouvelle base, sur laquelle nos successeurs pourront étayer de nouvelles hypothèses générales. »

Par une critique serrée des documents existant sur la Méditerranée occidentale, Paul Fallot établit des schémas paléogéographiques qui nous montrent, du Lias au Maestrichtien, un grand géosynclinal méditerranéen E-W, au Sud des domaines exondés de la Meseta ibérique, du continent corso-sarde et de la mer épicontinentale qui les sépare. A l'Est du méridien d'Alger, ce géosynclinal passerait au Sud de la Sardaigne, recouvrant le Tell algérien. Plus à l'Ouest, dans la zone qu'il envisage dans ses propres travaux, P. Fallot distingue un massif médian émergé, dit bético-rifain, qui sépare deux branches du géosynclinal méditerranéen : le sillon méridional, encore mal connu et incertain, va en direction du Rif marocain ; le sillon septentrional, le plus

important — voilà le point essentiel, tout à fait nouveau, du tableau — passerait au Sud des Baléares (dont il intéresserait une partie du territoire, entre Tithonique et Aptien), s'allongerait d'Alicante à Cadix — c'est le sillon subbétique — et se prolongerait peut-être sous l'Atlantique, vers l'Ouest. La paléogéographie nummulitique qu'imagine P. Fallot est beaucoup plus incertaine : il a l'honnêteté de la parsemer de nombreux points d'interrogation. Il faut noter qu'il ne consent pas à lier à la phase éocène, « pyrénéenne », les quelques plis anté-aquitaniens ou anté-burdigaliens d'Espagne méridionale.

Pour lui, comme pour L. Gentil, les phénomènes orogéniques néogènes représentent, en Méditerranée occidentale, l'essentiel : il faudra attendre trente-cinq ans pour que les géologues d'Algérie, prisonniers de la notion de « phase pyrénéenne », retrouvent progressivement, plus à l'Est, cette évidence inscrite dans les faits. P. Fallot adopte les interprétations de Louis Gentil concernant les charriages subbétiques vers le Nord et les charriages rifains vers le Sud. Le « massif bético-rifain », qui sépare ces deux sillons, pourrait se prolonger dans « une partie des affleurements cristallins qui apparaissent localement dans la bordure septentrionale de l'Atlas méditerranéen, entre Alger et Bône ». Et voici l'interprétation tectonique que Paul Fallot suggère.

Il reprend les conceptions mobilistes de Marcel Bertrand selon qui le bloc africain s'est rapproché du bloc européen (Meseta ibérique, etc.). « Si le massif bético-rifain a servi de « coin » inerte entre les horst mesétain et africain, sa présence suffit à expliquer l'emboutissage des chaînes, selon le tracé que nous leur connaissons [...]. Lors des phénomènes de striction, le massif bético-rifain, resserré entre les massifs primaires d'Espagne et d'Afrique [...] a obligé les plis et les nappes qui se formaient dans la masse sédimentaire [des géosynclinaux intermédiaires] à se déverser dans des directions centrifuges par rapport à lui. Ces masses, qui occupaient par hypothèse une zone déprimée, ont dû être légèrement chevauchées par les rebords du massif [bético-rifain] sous lequel elles tendaient à s'insérer. »

Tel est le premier schéma structural de la Méditerranée occidentale qu'imagine Paul Fallot, d'après les documents existants, et avant toute étude personnelle en Andalousie et en Berbérie.

Retenons encore, des dernières pages de sa thèse, l'attirance qu'exerce sur lui l'idée de la tectonique en mosaïque (le mot est écrit) des masses continentales, et aussi sa répugnance à employer le terme de géosynclinal : « au point

de vue de la topographie sous-marine aussi bien qu'au point de vue géologique, il faudra sans doute tenir la notion de géosynclinal, telle qu'elle est communément conçue [...] comme une fiction commode, mais très éloignée de la réalité ». L'on comprendra sans peine qu'en juin 1922, Émile Haug, président à la Sorbonne le jury de thèse de Paul Fallot, ait échangé avec lui de dures répliques sur ce sujet brûlant !

Cette thèse révèle un Maître. Notre Société lui décerne sans retard, dès 1923, son prix Fontannes. Les Académies royales des Sciences de Madrid et de Barcelone, l'Institut catalan de Sciences, en font leur Correspondant. L'Université l'admet d'emblée dans ses cadres supérieurs : le voilà, la même année, Maître de conférences à Grenoble. Son séjour n'y durera guère : occupé jusqu'alors par ses recherches méditerranéennes, Paul Fallot n'aborda pas à ce moment les problèmes des Alpes occidentales que, tout naturellement, il aurait pu envisager. Nous trouvons là un trait de son caractère : le désir de ne pas se disperser, de n'aborder un sujet nouveau qu'après la résolution des problèmes déjà entrepris.

Son activité aux Baléares ne se prolongera guère. Son ami Bartolomé Darder, dans la Sierra de Levante, dans le centre et le Sud de Majorque, s'initie en sa compagnie à la tectonique moderne. Aussi Paul Fallot va-t-il passer sur le continent. Mais il conservera la nostalgie de ces îles de rêve, de cette « Costa brava » de Majorque, où le bleu de la mer rejoint le bleu du ciel, de ses étroites criques où le flot joue sur les rochers blancs.

Il y reviendra en 1926, lors du 14^e Congrès géologique international de Madrid : bien qu'il soit étranger, il dirigera, avec Darder, une excursion à Majorque et fera, à ses maîtres alpins, les honneurs de son domaine. Notre Société, voulant honorer son rôle, lui attribuera en 1927 une Vice-Présidence.

*
* *

Quelques autres problèmes ont aussi, avant 1923, attiré l'attention de Paul Fallot. Ils lui permettront d'avoir des idées personnelles sur le Nord-Est de la péninsule ibérique.

Un peu avant la guerre de 1914, Charles Jacob avait amené Paul Fallot dans les Pyrénées catalanes. La « mode des nappes » battait son plein. Une « nappe du Montsech » fut le fruit de ce voyage. Des observations de Dalloni et de Lugeon ayant fait douter de son existence, ses auteurs

reprirent, après la guerre, l'analyse plus précise de la question et reconnurent publiquement — le fait est assez exceptionnel pour être souligné — leur erreur initiale.

Guidé par des considérations paléogéographiques, Paul Fallot avait déjà, dans sa thèse, protesté contre la tendance, que l'on eut un temps, de chercher des géosynclinaux aux abords des Pyrénées, et insisté sur le fait que le style rigide de cette chaîne, à matériel sédimentaire épicontinental, s'oppose au style souple des chaînes alpines, dont Majorque était une illustration. Cette vue, à laquelle d'autres parvinrent aussi, fut, on le sait, extrêmement fructueuse.

C'est aussi entre 1920 et 1923 que P. Fallot rédige ses derniers mémoires de paléontologie : Ammonites jurassiques de la province de Tarragone (avec F. Blanchet), Ammonites du Crétacé inférieur d'Ibiza (avec H. Termier), monographie du genre *Silesites*, révision des *Lytocératidés* du Gargasien des Basses-Alpes.

À la même époque, Paul Fallot et Maurice Gignoux entreprennent de concert un voyage qui les conduisit, en voiture à cheval, de Valence à Almeria, le long des côtes méditerranéennes. L'on trouve dans le magnifique mémoire, fruit de cette randonnée, de nombreuses coupes des séries néogènes, extrêmement variées, et dont les divers niveaux sont datés avec précision. Plus de trente ans après, ce travail reste fondamental : il témoigne de l'extraordinaire acuité visuelle et intellectuelle que possédaient ces deux grands géologues.

LA PÉRIODE NANCÉIENNE.

1923. La mort de René Nicklès, directeur et créateur de l'Institut de Géologie appliquée de Nancy, a laissé vacant depuis six ans un des plus importants postes universitaires de la géologie française. Paul Fallot — qui n'a pas trente-cinq ans — accepte cette lourde charge. Il va, pendant quatorze ans, réussir ce tour de force de diriger cet institut, de professer des enseignements nombreux et variés, de coordonner les travaux — principalement sur le Nord-Est de la France — de nombreux élèves, et d'entreprendre, dans les Cordillères bétiques d'abord, dans le Rif ensuite, les recherches qui feront sa gloire.

Un fait éminemment heureux permet la réalisation de ce programme. Paul Fallot, à la faveur de réunions musicales dans la capitale lorraine, découvre celle qui va être la compagne de sa vie, et qui partage avec lui l'amour de la musique. Deux fils et deux filles naîtront de cette parfaite

union. Paul Fallot, au soir de ses exténuantes journées de labeur, trouve un foyer heureux. Cette vie, simple et calme, qu'organise une femme d'élite, va donner au géologue les conditions d'action optimales.

L'essentiel d'abord, pour cet homme de devoir, est la direction de son Institut, qui compte une trentaine d'élèves. L'enseignement de base, Paul Fallot n'hésite pas à le donner, assurant même, quelques années durant, le cours d'initiation propédeutique. L'enseignement appliqué s'ajoute au précédent : confiant les cours et études techniques à un petit nombre de collaborateurs éprouvés, le directeur de l'Institut traite lui-même des procédés géophysiques de prospection, d'hydrologie, de géologie des barrages. Il convient de souligner que ce grand savant n'a jamais cru, malgré le sérieux avec lequel il aborda chacun de ces sujets, avoir le droit de se lancer dans des spéculations hasardeuses aux confins de la physique et de la géologie.

De son éducation chez Lugeon, Paul Fallot a gardé le goût des coupes structurales minutieuses sur cartes. Cet enseignement pratique qui, dans beaucoup d'universités, attendit la deuxième guerre mondiale avant d'être institué, le directeur de l'Institut de Nancy l'assure lui-même dès 1924, au contact direct de l'élève. Il le complète, pour les futurs ingénieurs-géologues et les meilleurs étudiants de licence, par des levers cartographiques sur le terrain, dans le Jura en particulier : vingt-cinq ans avant la Sorbonne, voilà donc réalisées les premières « écoles de terrain », que dirige personnellement le directeur. Sur des sujets qu'il connaît mal, Paul Fallot fait appel à des compétences extérieures, comme celles de M^{lle} Caillère ou de M^{me} Jérémiane. Celle-ci, à chaque mois de novembre, prend ainsi le chemin de Nancy : le directeur de l'Institut invite ses collaborateurs à suivre ses exercices pétrographiques. Il montre lui-même l'exemple, s'asseyant sur le banc de l'élève afin de s'initier à des sujets qu'il n'a pas encore eu l'occasion d'aborder !

Autre devoir du titulaire d'une chaire de province : celui de faire progresser la géologie régionale. Confiant délibérément à ses collaborateurs les banales enquêtes hydrogéologiques, afin de leur permettre de compléter de maigres émoluments, Paul Fallot, en compagnie de nombreux élèves, en particulier G. Corroy, dirige les levers géologiques dans le Jura, sur les feuilles au 80 000^e de Monthéliard (1931) et d'Ornans (1941). Il coordonne et stimule sur place les levers de

ses collaborateurs sur le versant lorrain des Vosges : feuilles de Metz (1932), de Lunéville (1937) et d'Épinal (1939).

Les travaux régionaux de cette École de Nancy sont ainsi tournés vers l'essentiel : la cartographie, en équipe. L'exemple est donné d'en haut, les collaborateurs affluent : élèves de thèses ou de diplômes, collaborateurs universitaires, amateurs bénévoles rivalisent d'ardeur. Pour tous, comme pour lui, Paul Fallot est exigeant, ne gardant que les meilleurs, animant leur action. Il n'est pas étonnant qu'un tel chef ait su se faire respecter et aimer.

Dans leur ensemble, les travaux jurassiens de Paul Fallot et de ses collaborateurs ont révélé d'importants faits stratigraphiques, mais surtout tectoniques, sur une chaîne pourtant bien parcourue déjà : les chevauchements suisses du mont Terrible se poursuivent en territoire français, où le charriage se double, vers le Sud, d'une seconde ligne de dislocations. Ces accidents sont relayés vers le Sud-Ouest par les chevauchements de Mouthier-Hautepierre, dont Paul Fallot prouve l'extension. Il se rallie explicitement à l'interprétation de Buxtorf, selon qui le Jura constitue une « Abscherungdecke », par décollement au-dessus du Trias. L'on sait que beaucoup de géologues ont continué à donner au socle ancien un rôle essentiel dans la facture du Jura, avant que d'heureux sondages en Bresse leur permettent de réviser leur position et d'admettre implicitement la justesse des vues de Buxtorf et Lugeon.

Mais l'essentiel de l'œuvre de Fallot, pendant son séjour à Nancy, n'est pas là.

L'ŒUVRE ESPAGNOLE.

De 1925 à 1932, Paul Fallot réalise sa grande œuvre en Espagne continentale.

Il se libère d'abord d'une hypothèque.

Selon Stille et Kober, l'édifice bétique, se couvant au niveau de Minorque, se poursuivrait dans la chaîne ibérique (alors dite, avec Dereims, « celtibérique ») sur la bordure nord-est de la Meseta, pour — se recouant à nouveau en pays cantabrique — donner le système pyrénéen puis provençal. Fallot est depuis longtemps certain que la dualité d'essence du Bétique, « alpin », et des Pyrénées, chaîne de fond, s'oppose à un tel raccord. Mais l'on ne sait presque rien sur le maillon intermédiaire, la chaîne ibérique, située au Sud du sillon de l'Ebre.

Une campagne initiale en 1921 dans la région de Tortosa, l'étude avec F. Blanchet des maté-

riaux paléontologiques récoltés dans cette région par les savants catalans, furent complétés vers 1925 par deux campagnes avec l'abbé Bataller, qui aboutirent à des conclusions formelles, confirmées par tous les chercheurs ultérieurs, en particulier par la jeune école allemande.

Les plis de la chaîne ibérique, post-stampiens vers Montalban, s'atténuent vers le Sud-Est, interférant avec le prolongement affaibli de la chaîne côtière catalane. Ils ne vont ni vers les Baléares ni vers l'édifice bétique. Fait essentiel : aucun géosynclinal mésozoïque ou tertiaire ne justifie la localisation de la future chaîne ibérique, dont les matériaux revêtent constamment des faciès épicontinentaux.

Ainsi, grâce à des recherches stratigraphiques précises, voilà ruinées cette théorie structurale de l'école germanique. Le géosynclinal méditerranéen ne détache pas une branche vers le Nord-Ouest, où l'on rencontre un régime de plate-forme épicontinentale. Le pays « alpin » n'est donc représenté, en Espagne, que par les Cordillères bétiques.

De 1926 à 1933, Paul Fallot va y réaliser une de ses œuvres essentielles. 1926 : sur la trace de ses grands devanciers de la « Mission d'Andalousie », le voici à l'Ouest de Grenade, d'Antequera à Priego. Il apprend que Maurice Blumenthal, notre illustre confrère suisse, vient de s'établir à Malaga. Immédiatement, et sans calcul, une collaboration amicale et fructueuse s'instaure entre eux : laissant à l'école hollandaise de Delft, dirigée par le professeur Brouwer, l'étude des zones internes des Cordillères, M. Blumenthal prend comme champ d'action le reste de l'Andalousie à l'Ouest du méridien de Guadix, à l'Est duquel opère Paul Fallot. Ménageant le Levant pour son ami Darder, d'Alicante à Valence, le voici donc lancé à l'attaque d'un immense rectangle, long de 100 km, large de 40, sur lequel l'on ne sait presque rien, sinon, grâce à R. Nicklès, l'existence de charriages à la Sagra et à Caravaca.

1927 : il attaque l'Ouest du dispositif, de Vélez-Rubio à Cazorla. 1928 et 1929 : il gagne vers l'Est, de Caravaca à la Sierra Espuña. 1930 : il atteint la province de Murcie. A partir de ce moment, il devra concilier ses missions au Maroc et l'achèvement de ses levers en Espagne.

Il n'est peut-être pas inutile de suivre un instant, de plus près, notre voyageur. Le voici, partant de Nancy, pour trois mois d'absence, laissant derrière lui sa jeune famille. Quatre ou cinq jours de train l'amènent aux marges de son secteur. C'est l'été torride d'Andalousie : il

n'a ni voiture ni aides. Si une « fonda » ou une « venta » consent à l'héberger, voilà les conditions les meilleures pour lui ! Il se lève avant le soleil, travaille jusqu'au soir, avec le court intervalle de la sieste, quand un arbre s'y prête ! A la nuit, exténué, le sac rempli d'échantillons, il regagne son gîte, à pas lents et lourds. Le matériel classé, les notes mises au point — l'essentiel a été pris ou « croqué » en cours de tournée — il se couche. Vers 10 ou 11 h de la nuit, selon l'auberge, il se réveille pour absorber le souper, puis se recouche.

Un autre régime s'impose dans les zones peu habitées. Il se munit d'un âne et d'un ânier, d'un ravitaillement de fortune, et c'est le départ. A la nuit, le groupe s'arrête, quand il se peut auprès d'une des rares sources. C'est le calme de la nuit andalouse : des pâtres chantent leurs mélancoliques mélodies. Paul Fallot s'enveloppe dans une couverture et s'endort, sous les étoiles.

Je connais ces collines blanches, sans arbres, ces barrancos secs et profonds, ce vent d'ouest, surchauffé, qui rend pénible la respiration au crépuscule. Avec les véhicules modernes, il est facile de s'en éloigner, le soir, pour regagner la ville. Quel courage a eu cet homme seul, à 2 000 km de la fraîcheur des pentes boisées de sa propriété de Lausanne, pour résister et aller jusqu'au bout de son dessein !

Quelle santé faut-il, quelle volonté doit s'appliquer pour « s'accrocher » ! Rien ne paraît justifier cet effort : ni salaire — toutes ses missions sont payées par lui —, ni avancement — il a une des grandes chaires de France — sinon la soif de voir, d'expliquer. En de pareilles circonstances, les géologues pourvus ont coutume de mettre sur le compte de l'insensibilité physique de telles actions. Rares sont ceux qui ont vu, en des éclairs vite réprimés, la souffrance de l'homme, souffrance qui n'est jamais défaillance. Une lettre de lui, de Calasparra, datée du 24 août 1930, la laisse perler : « Ici chaleur, Trias qui se fourre partout, truffé de dolérites, rien ne colle. Cafard. » Et cela se prolonge : le 2 septembre, « il fait chaud, et la géologie est insipide. Je n'ai rien de neuf. Sale métier ! »

Ses résultats essentiels, Paul Fallot les égrène en quelques brèves notes à l'Académie, à chaque retour de campagne. C'est encore une de ses règles que de tout livrer de ses découvertes, sans retard, craignant que la mort, la lassitude ou les charges n'empêchent — plus tard — l'édition des mémoires détaillés sur les sujets abordés. Dans le cas de ses études subbétiques, la monographie ne verra le jour qu'en 1945.

La région qu'il étudie appartient pour l'essentiel à la zone subbétique, c'est-à-dire au passage du géosynclinal méditerranéen proprement dit dans le Midi de l'Espagne. A l'Est, il connaît bien les Baléares. A l'Ouest, outre quelques tournées rapides, il peut s'appuyer sur ses prédécesseurs de la « Mission d'Andalousie » et sur les matériaux que Blumenthal lui soumet.

Une mise au point des principaux faits stratigraphiques et paléogéographiques s'impose. Faute de temps, il lui est impossible d'accumuler ces données en un seul ouvrage : il profite du périodique barcelonais *Géologie de la Méditerranée occidentale* — trop « confidentiel » et dont la vie, hélas ! sera brève — pour donner, en fascicules séparés, ce qui concerne le Trias (1931), le Lias (1932), le Dogger (1933), le Jurassique supérieur (1934). La guerre civile espagnole interrompt la publication : le Crétacé ne pourra être publié que beaucoup plus tard (1943), à Madrid. Quant au Tertiaire, Paul Fallot renoncera à le traiter, sentant le sujet encore trop difficile à cerner.

Ce travail remarquable porte la marque habituelle de son auteur : analyse critique serrée des documents et des faunes, puis leur rassemblement en un cadre paléogéographique harmonieux. Il en ressort une opposition essentielle entre trois domaines : au Nord, la zone prébétique, simple couverture épicontinentale du môle mesétien ; plus au Sud, charriée sur la précédente, la zone subbétique, avec des faciès profonds, « méditerranéens », et des faunes pélagiques « alpines » ; enfin, encore plus méridionales, les zones internes, dites « bétiques » au sens strict, avec des formations lacuneuses et souvent réduites.

Parmi les résultats essentiels, il convient de citer les suivants : le Lias subbétique possède partout un cachet alpin ou italien, comme le possède aussi le Jurassique supérieur, généralement complet. De ce dernier, les étages, peu épais en général, datés par de très riches faunes de Céphalopodes, offrent souvent le faciès de « fausses-brèches » ou de « calcaires noduleux », classiquement tenus pour « tithoniques », et cela dès le Dogger. C'est au Crétacé que l'opposition des zones paléogéographiques s'accuse le plus : les faciès gréseux, dolomitiques, récifaux, du Prébétique s'opposent aux faciès « bathyaux » du Subbétique, avec leurs marnes bleues à Ammonites pyriteuses, qui eux-mêmes sont, au Sud, au contact des faciès glauconieux du Crétacé lacuneux du « Bétique » (Sierra Espuña par exemple). Un fait essentiel : la découverte de Sénonien marneux à Rosalines, sous un faciès « couches rouges », de bout en bout de la zone subbétique,

à l'image de ce que l'on connaît dans les Alpes occidentales.

Du point de vue structural, dans le cadre régional, Paul Fallot prouve et étend la notion, établie par R. Nicklès sur des observations très locales, selon laquelle, sur le Prébétique septentrional, autochtone, simplement écaillé, repose mécaniquement, par l'intermédiaire de Trias gypsifère, une série disloquée « qui comprend, du Lias au Sénonien [...] des sédiments à faciès de haute mer ». Ce charriage n'est toutefois établi, nous dit-il, que sur une profondeur de 6 à 8 km.

A lui seul, ce secteur — si étendu qu'il soit — ne permet pas de comprendre l'ensemble de la chaîne, non plus d'ailleurs que ne le permettent, seuls, le secteur interne des Hollandais ou la région de Malaga étudiée par M. Blumenthal. Paul Fallot essaye de coordonner les faits acquis, constate l'insuffisance de documentation précise sur de vastes espaces, et va se borner — modestement et utilement — à une série de mises au point. La première, en 1930, est insérée dans le Livre jubilaire de notre Société : un schéma structural en couleurs l'accompagne.

D'énormes progrès ont été accomplis depuis 1922 dans les zones internes « bético-rifaines », jusqu'alors considérées comme matériel inerte. L'école de Brouwer a montré que « la coupole ou carapace de la Sierra Nevada apparaît, grâce à une exaltation axiale, en fenêtre au milieu d'un complexe de nappes formées de terrains diversément métamorphisés, à Trias différent du Trias germanique et homologue du Trias alpin ». A ces nappes, dites alpujarrides, Blumenthal vient d'ajouter un élément plus élevé, le Bétique de Malaga. Ses constituants, essentiellement paléozoïques, sont caractérisés d'une part autour de Malaga, de l'autre au Nord de la Sierra Nevada, dans la zone « de Cogollos-Vega » (dont P. Fallot et M. Blumenthal donneront bientôt une excellente monographie) ; dans la province de Murcie, P. Fallot propose de leur rapporter certains massifs, près de Vélez-Rubio et de Lorca.

Le Paléozoïque de la nappe de Malaga comporte des lambeaux épars d'une couverture mésozoïque et éocène, dite pénibétique par M. Blumenthal. Ce dernier rattache à ce complexe charrié, d'origine lointaine, des éléments plus externes, largement répandus autour de Ronda et entre Antequera et Loja. Ce « Pénibétique externe » chevaucherait là, largement, le « Subbétique » plus septentrional, parautochtone : les Trias gypsifères de la base de ces deux ensembles seraient souvent mélangés tectoniquement (« Trias citrabétique »). P. Fallot attribue volontiers au

Pénibétique, dans sa zone d'études, une série de massifs isolés, près de Vélez Rubio, de Lorca, la Sierra Espuña, voire la Sierra de Carrascos. La difficulté de séparer, structuralement et paléogéographiquement, ce Pénibétique des zones plus septentrionales qu'il a étudiées le laisse perplexe. Le charriage frontal sur le Prébétique autochtone « peut être réduit à peu de kilomètres, voire d'hectomètres, comme aussi résulter d'un très grand charriage. Aucun fait irréfutable ne permet [...] d'étayer les interprétations d'ensemble attribuant à ces masses jurassiques une origine ou ultrabétique ou presque locale ».

Dans sa mise au point de 1930, Paul Fallot met aussi le doigt sur le problème capital de la courbure de Gibraltar. Il règne dans ces parages, du côté andalou, « des formations tertiaires à faciès flysch [...] recouvrant en apparence Bétique (de Malaga), Pénibétique et Subbétique », mais qui, selon Blumenthal, seraient impliquées dans les structures essentielles. A ce sujet, P. Fallot nous dit : « Mais on ne comprend pas bien le contact transversal par rapport à la chaîne Bétique de tout ce Tertiaire s'il n'est pas transgressif. » C'est sur la structure du Pénibétique et du Flysch que repose l'essentiel du problème de la courbure de Gibraltar. Si le Pénibétique est bien solidaire du Bétique et en représente la couverture, on peut admettre, avec Staub, qu'il s'agit d'un simple abaissement d'axe des nappes qui se poursuivraient en profondeur vers l'Ouest, sous l'Atlantique. Si le Bétique de Malaga s'encapuchonne sous le Pénibétique, en lui étant étranger, le front des nappes tourne vraiment et dessine la courbure de Gibraltar.

Telle est la position hésitante, en 1930, de Paul Fallot. Elle va se préciser rapidement, à la faveur de ses dernières campagnes de terrain et d'une amicale discussion avec M. Blumenthal. Très vite, P. Fallot va être convaincu que la large zone qu'il a étudiée entre Huescar et Alicante ne diffère en rien du Subbétique défini au Nord de Grenade, et dont beaucoup d'auteurs — même Blumenthal — admettent la position parautochtone. Le chevauchement frontal sur le Prébétique serait donc local.

Par voie de conséquence, la notion de « Pénibétique » — couverture décollée du Paléozoïque de la nappe de Malaga — va lui sembler suspecte, sauf — bien sûr — en ce qui concerne les lambeaux, de faciès très particuliers, qui reposent indiscutablement sur le Primaire autour de Malaga. Fallot va persuader Blumenthal que — hors ce cas — Pénibétique « externe » et Subbétique constituent une seule et grande unité,

parautochtone. A tort, apparaît-il aujourd'hui à certains.

Mais il faut aller au Maroc pour faire avancer la question.

L'ŒUVRE RIFAINE.

De 1930 à 1934, Paul Fallot mène à bien son œuvre au Maroc. On demeure confondu de voir qu'en un peu plus de douze mois de campagne, cinq cartes au 50 000^e d'un secteur extrêmement complexe sont levées, pour l'essentiel avec une grande finesse, mais au prix d'un labeur acharné.

En 1929, le Rif français était activement étudié, mais l'on ignorait presque tout de la zone nord. Les relations amicales que s'était faites Paul Fallot en Espagne lui permirent, avec l'appui de Pierre Termier — alors Conseiller du Gouvernement chérifien — d'aborder l'étude du Rif septentrional avec la couverture et la collaboration occasionnelle de D. Agustín Marín, chef de la mission géologique espagnole.

Au printemps de 1930, Marín et Fallot, qui s'est adjoint Blumenthal, effectuent une tournée d'information générale : elle les conduit dans la chaîne calcaire qui forme une longue dorsale escarpée, de Ceuta à Punta Pescadores. Puis, tantôt à trois, tantôt séparément, ils entreprennent des levés entre Ceuta et le Sud de Tétouan. Le 15 décembre 1930, Paul Fallot expose devant notre Société les résultats essentiels. Ce travail, basé sur quelques coupes, aboutit à certaines conclusions indiscutables : l'homologie de la zone interne du Rif avec le Bétique de Malaga, une ébauche de la stratigraphie de l'arc calcaire, l'individualité de la zone du Flysch plus externe. Mais l'interprétation structurale conduisant à l'autochtonie de l'ensemble, ne va pas résister, au Sud de Tétouan, aux levés détaillés que Paul Fallot y mène bientôt, et dont, à son habitude, il nous livre chaque année les résultats essentiels.

C'est un autre type de recherches qu'en Andalousie. La Dorsale rifaine comporte des sommets dépassant 2 000 m d'altitude. Les entailles des oueds sont extrêmement profondes. Ce sont des reliefs vraiment « alpins ». Aucune route alors n'abordait la Dorsale. Celle qui longe sa base à l'Ouest, de Tétouan à Chechaouene, Paul Fallot la verra construire par les pionniers du Génie espagnol. Sinon quelques postes militaires, l'on ne trouve, de loin en loin, accrochés près des sources, que de pauvres villages indigènes. Ignorant la langue du pays, à peine pacifié et encore

remuant, Paul Fallot part avec son mulet et un muletier-interprète. Les incidents ne manquent pas. Le plus grave, qu'il tût toujours, lui advient dans les pics du Gorguès, au Sud de Tétouan : un goumier à la solde de l'Espagne le prend pour un déserteur de la Légion espagnole, le « Tercio », et essaye de l'en persuader de force ! Roué de coups, le bras gauche profondément entaillé, notre géologue est transporté inanimé à l'hôpital de Tétouan. Trois jours plus tard, le bras bandé, il remontait péniblement les pentes où s'était produite l'agression !

En contre partie, le pays est magnifique. L'air vif remplace la torpeur andalouse, des horizons dégagés se détache au loin, très bas, le bleu de la Méditerranée. Tout cela stimule et accélère la réalisation du dessein de P. Fallot.

Un gros mémoire descriptif en espagnol (avec un atlas), puis une monographie en français nous ont révélé, depuis, la stratigraphie et la structure d'une chaîne jusqu'alors complètement inconnue. La Dorsale comporte, sur un Paléozoïque complexe, un Permo-Trias rouge, puis des dolomies d'un Trias plus élevé, des calcaires liasiques (dont tous les étages sont, ici ou là, caractérisés), quelques traces de Néocomien, du Maestrichtien marneux à Rosalines, transgressif, du Lutétien, de l'Éocène supérieur et de l'Oligocène.

Structuralement, la Dorsale calcaire, entre Tétouan et Punta Pescadores, révèle progressivement sa structure en grandes écaillles imbriquées ou superposées. Paul Fallot nous confie cependant : « Si j'ai dû, en définitive, conclure à l'existence dans certains secteurs de nappes charriées, ce ne fut qu'après une critique d'autant plus serrée de mes observations, qu'à l'origine je croyais que la chaîne ne comportait pas de dislocations de grand style. Ces circonstances me semblent garantir le bien-fondé d'une interprétation à laquelle je ne suis venu qu'à contre-cœur, sur le vu de faits absolument probants. Mais elles m'ont peut-être rendu trop timide devant certaines vues d'ensemble. »

Il n'est pas inutile de rappeler cette période où la ruine justifiée de grandes nappes décrites abusivement dans certains édifices plissés, tels les Pyrénées, entraîna chez certains mentors de la géologie la conviction que les charriages n'existaient pas. Nous trouvons, sous la plume de Paul Fallot, dans le rapport pour l'attribution du Prix Fontannes à Lacoste (1935), la phrase que voici : « Dans le domaine de la tectonique, les dernières années ont marqué une réaction contre la tendance à interpréter toutes les anomalies par la formule des charriages. » Quel qu'ait été le

frein — trop durable — constitué par cette réaction inconsidérée, l'on doit souscrire à ce que P. Fallot ajoute plus loin : « Raccords, explications, théories ne durent qu'un temps. Le chercheur en a besoin pour relier ses observations. Mais ce qui vaut surtout dans une œuvre, ce sont les faits bien observés, les données stratigraphiques concrètes. Cela servira encore quand le cadre où les a situés notre soif de comprendre aura craqué. »

Pour le Rif, voici l'image à laquelle il parvient. Le Flysch nummulitique et sénonien étalé à l'Occident s'appuie, très redressé, sur le Jurassique et le Trias calcaro-dolomitique des chaînons externes, autochtones, de la Dorsale. Sur celui-ci s'appuient des séries de constitution analogue qui, charriées de l'Est vers l'Ouest, arrivent à reposer jusque sur les Flyschs externes : l'écaille intercalaire de Sidi el Gayachi, la nappe de Xauen-J. Kelti, enfin l'élément du J. Amesif et la nappe d'El Babat. Cet écaillage est le résultat du charriage de la zone paléozoïque plus interne, nappe à laquelle P. Fallot rattache des coins de Primaire pincés dans la Dorsale.

L'allure arquée de la zone rifaine interne correspond à une virgation forcée, les plus importants déplacements vers l'Ouest (25 à 30 km au maximum, estime Fallot) se situant au centre du dispositif, tandis qu'aux deux ailes ils diminuent fortement, jusqu'à s'annuler : ce serait, au Nord, l'explication du « rebroussement » de Tétouan. Les chaînons plus septentrionaux du Haut seraient de la sorte autochtones. Ainsi les charriages du Rif interne possèderaient une ampleur limitée.

Les travaux modernes ont, depuis cinq ans, sensiblement modifié cette image. Il convient de proclamer cependant que, dans les secteurs que Paul Fallot a pu étudier soigneusement — la Dorsale proprement dite — l'essentiel de ses interprétations demeure. La solution d'ensemble du problème tenait aux Flyschs externes, à cette « zone marno-schisteuse », qu'il n'avait traversée qu'en de rares itinéraires. Non satisfait de l'image qu'il en avait donnée jadis, Paul Fallot poussa à réétudier ses préparations microscopiques, puis encouragea une nouvelle équipe à reprendre le problème, par des levés détaillés et par l'emploi systématique des microfaunes. Les Flyschs externes viennent de montrer l'empilement d'unités charriées, « ultra-rifaines », surmontant la Dorsale, qui apparaît formée — sur toute sa longueur — par un empilement de nappes surmontant elles-mêmes le Paléozoïque

interne formé de plusieurs unités superposées. C'est une phase tectonique tardive qui, de Tétouan au Sud de Chauen, a provoqué l'actuelle virgation rifaine, avec ses violents écaillages posthumes si bien analysés par P. Fallot.

Si ces progrès récents ont été faits, c'est par la volonté et avec l'appui du Maître. Quelle sérénité, quelle noblesse d'âme s'exprime dans ce message que, moins d'un an avant sa mort, il adressait publiquement à ces travaux modernes qui « font apparaître d'essentielles rectifications à des attributions auxquelles je m'étais tenu. Tel Montaigne, je me jette au-devant de la vérité. Je la festoie et la caresse en quelque main que je la trouve ». Et de lancer aux continuateurs : « Ne vous arrêtez pas en si bonne voie. Allez de l'avant ! »

LA SYNTHÈSE DE LA MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE.

Ainsi le Rif interne vient-il, dès 1930, de livrer à Paul Fallot des faits essentiels. Il a parcouru les Cordillères bétiques et en a analysé d'immenses espaces. Avec Daguin, Lacoste et Jean Marçais, les régions méridionales du Rif sont débroussaillées. La géologie algérienne, longtemps livrée à l'anarchie, vient d'effectuer, avec la thèse de Louis Glangeaud, un puissant rétablissement. De tout cela, Fallot va tirer, en 1932, une fresque de la paléogéographie, aux temps secondaires, de toute la Méditerranée occidentale : « en faisant cette tentative, je dois insister sur son caractère provisoire et ses résultats encore hypothétiques », précise-t-il. Il n'en reste pas moins que ce cadre — identique à celui que L. Glangeaud va proposer pour la Berbérie — va, pendant vingt-cinq ans, guider toute une génération de géologues et permettre de réaliser les énormes progrès des dix dernières années. Au Nord, le bâti européen de la Meseta s'enfonce progressivement sous une mer épicontinentale. Au Sud, le bâti africain montre un dispositif symétrique. Une masse centrale, la zone bético-kabylo-rifaine, large de quelque 150 à 200 km, constitue une sorte de pli de fond, E-W, émergé ou à sédimentation peu profonde. Ce bâti est séparé du continent européen par le sillon « alpin », le « géosynclinal méditerranéen » si l'on veut, large de quelque 200 km, à sédimentation profonde (zone subbétique), qui, comme P. Fallot le pensait déjà en 1922, se poursuivrait vers l'Ouest, sous l'Atlantique, et vers l'Est, jusqu'à la Sicile.

Au Sud, la zone kabylo-bético-rifaine est séparée du continent africain par un sillon de subsidence complexe, la « zone Rif-Tell », qui a mesuré

de 120 à 200 km de large : les faciès détritiques n'y seraient pas rares. Ce sillon, symétrique du premier, n'en serait pas homologue. Le sillon nord ou géosynclinal « méditerranéen » aurait été situé à l'aplomb de la limite réelle des bâtis — la mode actuelle est de parler de cratons — européen et africain. Le sillon rifo-tellien ne serait, lui, qu'un accident superficiel isolant en apparence de l'Afrique la zone bético-kabylo-rifaine, simple « bourrelet liminaire africain ».

L'évolution tectonique de ces territoires au Tertiaire est expliquée comme suit. L'ensemble africain (socle mesétain, sillon rifo-tellien, bourrelet liminaire) serait monté littéralement sur le socle européen. L'ensemble des nappes bétiques internes, dont Paul Fallot estime le déplacement cumulé entre 175 et 215 km, à hauteur de la Sierra Nevada, arrive ainsi à écraser le géosynclinal méditerranéen.

Les chevauchements vers le Sud des massifs kabyles et rifain, eux, seraient très faibles, tant en Algérie, d'après Glangeaud, qu'au Maroc : généralement quelques kilomètres. Il s'agirait d'une simple réaction « par inertie » à la poussée principale vers le Nord.

L'élément essentiel — sur lequel ce travail de 1932 met l'accent — est la zone kabylo-bético-rifaine. Vers l'Est, elle est nette jusqu'à Bône. Vers l'Ouest, elle se terminerait en doigt de gant, épousant l'actuelle courbure de Gibraltar, ainsi expliquée : à ce niveau, le géosynclinal méditerranéen (subbétique) rejoindrait le sillon rifo-tellien.

Un stade intéressant de la pensée de Paul Fallot concerne l'origine des sédiments profonds du géosynclinal subbétique : ils pourraient pour une part appartenir à l'ancienne couverture des nappes bétiques décollée et poussée en avant.

Quant à la question du sort des charriages bétiques vers l'Ouest, Fallot hésite : diminution progressive d'ampleur ? écrasement plus accusé sous le front africain ?

Telle est, en 1932, la vue de Paul Fallot sur la Méditerranée occidentale. Représentons-nous, encore une fois, l'énorme apport analytique qui, en moins de dix ans, l'a conduit à ce tableau.

Tout était là pour compromettre cet effort : son enseignement, la direction de son Institut, la supervision des équipes qu'il a lancées dans le Jura et dans les Vosges. Et aussi — ce n'est pas le moindre obstacle — les charges liées à son poste de Nancy (comité de l'Office des combustibles liquides, puis un temps Comité consultatif des Universités) et l'obligation de paraître dans les Congrès de Géologie appliquée et de Géologie. En

1929, il était Délégué au Congrès international de Pretoria. En 1933, il dirige la délégation française au Congrès de Washington, dont il est nommé Vice-Président. Sauf une brève apparition au Congrès d'Alger, en 1952 — il ne pourra l'éviter puisqu'il en dirige deux excursions — ce seront les dernières occasions où Paul Fallot paraîtra dans ces assemblées internationales.

De plus, et surtout, il remplace en 1931 Pierre Termier comme Conseiller scientifique du Gouvernement chérifien. Il est mêlé de la sorte à la plupart des problèmes géologiques débattus au Maroc jusqu'à la guerre de 1939, et peut ainsi parcourir le pays. Ces déplacements permettent à Paul Fallot de compléter sa connaissance des faciès et des chaînes atlasiques. Guide désintéressé, confident scientifique des jeunes chercheurs, il n'a jamais profité de son rôle pour les piller et a toujours refusé d'associer son nom aux publications, fruit de ses suggestions sur les terrains étudiés par eux. N'oublions pas non plus sa charge de Conseiller de la Société chérifienne des pétroles, où plusieurs de ses élèves — parmi lesquels Raymond Levy et Robert Tilloy — ont joué un rôle essentiel.

Paul Fallot voit ainsi que tout est à faire en Méditerranée occidentale, et qu'il est apte, ayant tant étudié de pays, à résoudre les problèmes essentiels. Mais l'effort individuel n'est pas suffisant. « La recherche scientifique — nous dit-il en 1937 — embrasse actuellement de tels ensembles qu'il devient nécessaire d'organiser des collaborations, de former des équipes », « bref de sortir du plan individuel sur lequel ont évolué nos devanciers. » Une occasion magnifique se présente à lui.

L'ENTRÉE AU COLLÈGE DE FRANCE.

Il est, au cœur de Paris, séparé de la Sorbonne par le fossé de la rue Saint-Jacques, un édifice de proportions modestes, aux lignes harmonieuses, où un petit nombre de savants de choix peuvent, dans une calme retraite, loin des contingences des universités, « retrouver le pur jaillissement d'une pensée libre et féconde », et ainsi selon le mot de Renan, enseigner « la science en train de se faire ». La chaire de Géologie du Collège de France n'a cessé d'être, depuis 1832, avec Cuvier, Élie de Beaumont, Fouqué, Auguste Michel-Lévy, un des grands pôles d'activité de la Géologie française. Lucien Cayeux, le créateur français de la pétrographie sédimentaire, vient, à son tour, de quitter l'illustre maison. C'est, pour Paul Fallot, une occasion de réaliser son rêve : être le rassembleur des énergies pour

l'étude des problèmes de Géologie méditerranéenne.

Tel est le nom que prend la chaire de Géologie quand Paul Fallot, à la fin de 1937, reçoit son mandat de l'assemblée des professeurs du Collège de France, sur un rapport de l'abbé Breuil. Son cours inaugural a lieu le 7 décembre 1938 : il y évoque la grande figure de son illustre prédécesseur Élie de Beaumont.

A peine a-t-il le temps de s'installer dans son laboratoire et d'organiser son action. La deuxième guerre mondiale survient. Paul Fallot, bien qu'ayant dépassé la cinquantaine et père de quatre enfants, a voulu être maintenu dans les cadres de l'armée. Nous le retrouvons, le 24 août 1939, capitaine au 23^e régiment d'Infanterie de forteresse. C'est le début de la « drôle de guerre », qu'il décrit à un correspondant : « on mange, on boit, on rit, on attend en essayant de ne pas penser. Le cercle intellectuel et moral se rétrécit. J'évoque de très loin déjà la géologie — et j'accumule pour l'avenir de l'énergie potentielle. »

C'est alors — semble-t-il — que le hasard menant une unité britannique sur le front de Lorraine, son général suggéra qu'on lui envoie « le géologue militaire du secteur ». Les réflexions qui suivirent cette demande amenèrent l'armée à prendre conscience du rôle que pouvait jouer la géologie dans les travaux du Génie et dans la conduite de certaines opérations. Le capitaine Fallot reçoit donc la mission d'organiser, à l'image des armées allemande et anglo-saxonnes, un « Service géologique », rattaché au Service des eaux du G. Q. G. L'on conçoit sans peine les entraves qu'il va rencontrer. Les officiers-géologues, dépendant de chaque armée, ne sont pas sous son autorité directe ; aussi le service ne fut-il guère fonctionnel, jusqu'à la débâcle de mai 1940.

Rendu à la vie civile au mois de juillet, Paul Fallot, après avoir réuni les siens dans sa propriété de Roveréaz, va se retrouver seul, pendant toute la guerre, au milieu de Paris enchaîné, la nuit dans son appartement glacé de l'avenue Victor-Hugo, le jour se rendant à bicyclette dans son laboratoire désert du Collège de France. Le sort s'acharne sur son entreprise : pendant quatre ans, l'occupation ennemie va l'obliger à travailler seul. Nous allons le voir alors réaliser lui-même, avec son seul assistant, l'inventaire et un nouveau classement — par matières — des quelque 12 000 ouvrages et brochures que comptait alors la remarquable bibliothèque du laboratoire de Géologie. Il continuera à l'enrichir avec amour,

afin de la transformer — ce qu'elle est devenue — en un instrument de travail irremplaçable, riche de plus de 20 000 ouvrages. Dans la grande nuit où le pays est plongé, nous dit-il, « il fut possible de maintenir un peu de vie scientifique autour de la chaire de Géologie méditerranéenne qui a pu jouer, si modestement que ce soit, son rôle auprès des géologues de l'Afrique du Nord française ». Il assure ainsi lui-même la publication en France des mémoires du Service géologique du Maroc.

C'est l'occasion pour lui de mettre au point ses observations des années d'avant-guerre. Un gros mémoire en espagnol sur les chaînes sub-bétiques entre Alicante et le Rio Guadiana Menor lui est l'occasion de livrer l'ensemble des observations qu'il a faites sur le terrain de 1925 à 1932. Fruit d'un voyage qu'il effectua en 1938, il analyse les faciès du Trias d'Algérie et, à cette occasion, oppose de manière nette les dépôts très détritiques, pauvres en sels, effectués sur le bâti kabyle, et la puissante sédimentation marnogypsifère de la zone tellienne, tout en trouvant, dans les deux domaines, trace de la transgression marine du Muschelkalk. En quelques notes fondamentales, il nous retrace l'évolution structurelle des trois Atlas marocains, plis de fond ébauchés au Paléozoïque et périodiquement rajeunis.

Mais ce travail de laboratoire laisse insatisfait le professeur Fallot. Il cherche un nouveau champ d'études pour lui et pour l'équipe nouvelle qu'il rêve d'organiser.

L'ŒUVRE ALPINE.

L'occupation allemande interdit les voyages lointains. A partir de 1942, il obtient que lui soient confiés les levers des nouvelles cartes en courbes de niveau des Alpes maritimes au Nord de Nice. La période est dure, les moyens de travail bien limités, mais l'ardeur est toujours la même.

Il me souvient de ce soir de juillet 1943 où, après avoir gravi les pentes dominant le Var, j'attendais, à l'auberge de Valberg, le retour de terrain du professeur Fallot auquel j'avais été adressé. La nuit était largement tombée quand il arriva. J'eus devant moi un homme aux larges épaules, point très grand, dont l'aspect traduisait l'extrême robustesse physique. Un visage rectangulaire aux traits burinés, le menton énergique, des yeux vifs derrière la barrière de ses verres, un front large dominé par une chevelure châtain, extrêmement fournie, ramenée en arrière, véritable crinière de lion : tel il m'apparut.

Je subissais dès le lendemain, à l'aube, une méthode de travail qui m'était inconnue. Lui, tête nue, allait en avant d'un long pas lourd et régulier, le front incliné, comme soucieux, simultanément penseur et observateur. Il guidait sa marche d'un bâton, canne improvisée à partir d'un branchage. Une sacoche à documents — cette sacoche du « type Lugeon », modifiée, est devenue le prototype d'une série partout répandue aujourd'hui ! — était fixée à la droite de son large ceinturon, un énorme marteau — destiné à briser la résistance des roches les plus dures — pendait au côté gauche.

Je pus alors apprécier le souci extraordinaire qu'avait Paul Fallot à dater paléontologiquement les niveaux rencontrés et à cartographier minutieusement les détails les plus infimes, même ce qui m'était apparu jusqu'alors comme de « l'insipide Quaternaire ! » Pendant quinze ans, épaulé d'abord par Pierre Bordet et surtout par Anne Faure-Muret, accompagné plus tard par beaucoup d'autres « jeunes » — Marcel Lemoine, Gabriel Suter, ... — qu'il forme au métier de cartographe, Paul Fallot va accomplir son travail de fourmi. Le résultat en est que nous possédons, sur le versant français du massif de l'Argentera-Mercantour, des documents graphiques inestimables, quasi définitifs. Parmi eux, déjà parue en attendant les autres, la feuille de Saint-Étienne-de-Tinée, qui est sans conteste la plus remarquable carte géologique de France.

L'on ne saura jamais assez l'effort physique et moral qu'a représenté un tel travail. Dans une allocution en 1946 devant notre Société, il évoque « une équipe travaillant dans le Sud des Alpes, qui s'est vue systématiquement refuser le vivre et le couvert réservés aux seuls estivants [...]. En trente jours de dures ascensions de haute montagne, n'ont-ils pu coucher dans des lits que six nuits et obtenir qu'une dizaine de repas chauds... » Cette équipe, c'est la sienne, et il est à sa tête.

Un correspondant ami reçoit, de Saint-Martin-Vésubie, en 1948, ces lignes émouvantes : « Quelle vie mène le géologue ! » et d'évoquer « les journées tuantes pour mes soixante ans ; le vent, la pluie, la géologie, tout me paralyse... quatre jours à 2 200 m sous la neige, dans la brume et le vent. Géologie sans intérêt, mais il fallait combler ce « blanc ». Nous repartons demain à 4 h pour la frontière, vivre sous la tente à 2 400 m et j'en frémis d'avance... »

Des faits accumulés sur l'enveloppe sédimentaire du massif cristallin, aucune monographie d'ensemble n'a été réalisée. Mais l'on possède,

dans des notes éparses, publiées en collaboration avec Anne Faure-Muret, une précieuse documentation stratigraphique : la mise en évidence de niveaux à *Microcodium* entre Sénonien et Lutétien, et leur importance dans le domaine alpin externe n'en sont point le moindre résultat.

Tectoniquement, ces leviers prouvent éloquemment le décollement total au niveau du Trias plastique de la série secondaire et nummulitique. De proche en proche, c'est toute la couverture subalpine qui glisse vers l'Ouest, en se fronçant. Le massif du Mercantour, littéralement pelé, n'a surgi qu'après sa dénudation, ce qui explique qu'il n'a jamais auparavant influencé la sédimentation.

Plus tard, Paul Fallot entreprendra l'étude des écaïlles briançonnaises et subbriançonnaises qui, aux abords du col de Tende, montent à l'assaut du Cristallin, au revers italien du Mercantour. Ces tournées, menées avec Marcel Lanteaume, vont amener ce dernier à prouver l'âge crétacé du Flysch à Helminthoïdes ligure, son caractère charrié depuis des régions très internes et du même coup à modifier gravement les synthèses alpines classiques.

Ces recherches sur le terrain des Alpes maritimes franco-italiennes incitent Paul Fallot à tenter une coordination de l'ensemble des Alpes, de Vienne à Nice, et leur raccord avec l'Apenin. De 1946 à 1958, ses cours du Collège de France vont décrire les divers tronçons de l'immense chaîne, d'après les innombrables travaux des auteurs de langue française, allemande ou italienne. Il est amené, ce faisant, à démontrer par des considérations paléogéographiques le bien-fondé de la théorie des grands charriages. En particulier, analysant, dans sa « Promenade d'hypothèse en hypothèse » les nappes préalpines, leurs séries et leurs translations, il retrouve l'optique de Lugeon, et affirme que l'existence de ces unités implique à elle seule le charriage des ensembles penniques.

Des Alpes orientales, qu'il a l'occasion de parcourir en 1947, il propose une interprétation nouvelle. L'on sait que, dans ces contrées, le Cristallin des Hohe Tauern et sa couverture de Schistes lustrés sont surmontés par les nappes austro-alpines, essentiellement formées de Cristallin.

Au Sud, aux confins de l'Italie et de l'Australie, les Alpes calcaires méridionales reposent sur ce Cristallin : au sein de cet ensemble, P. Fallot estime que, dans les Dolomites et les Alpes bergamasques, les chevauchements observés résultent du décollement de la couverture méso-

zoïque au-dessus du plastron permien, et de son glissement partiel vers le Sud.

Au Nord, aux confins du bassin de la Molasse bavarroise, sur une longueur de 450 km et une profondeur d'une centaine, se dressent les Alpes calcaires septentrionales. Ici, l'interprétation de Paul Fallot, basée sur la ressemblance de leurs faciès — que son analyse rend éclatante — avec ceux des séries homologues des Alpes méridionales, est la suivante : le Secondaire des Alpes calcaires septentrionales représente l'ancienne couverture du Cristallin austro-alpin, décollée au niveau du Werfénien, entraînant en sole le Primaire récent de la « zone des grauwackes ». Globalement, l'énorme paquet des Alpes calcaires septentrionales a ainsi glissé vers le Nord d'une centaine de kilomètres au moins.

Voilà qui jette une clarté aveuglante sur les superstructures de toute la moitié orientale des Alpes. Il n'est pas exagéré de penser que Paul Fallot a été l'un des rares auteurs modernes ayant pu raisonner, en connaissance de cause, à l'échelle de toute la chaîne alpine, et y apporter, soit directement, soit indirectement, des interprétations nouvelles de très grande importance.

AU LABORATOIRE DU COLLÈGE DE FRANCE.

1945-1960. Période féconde durant laquelle Paul Fallot, enfin, peut animer son laboratoire. Son action, de personnelle, devient collective. Multiforme et extrêmement fertile, elle est bien difficile à cercler.

Le centre en est le cours au Collège de France. Chaque année, de décembre à février, vingt-cinq leçons sont consacrées aux recherches du professeur et de son laboratoire. Il est grand dommage qu'une pareille Somme n'ait pu être publiée. Paul Fallot, l'estimant imparfaite et trop hâtive, n'a consenti à laisser reproduire ses cours, à un très petit nombre d'exemplaires, que durant les dernières années. On en trouvera cependant une claire analyse (depuis 1951) dans les *Annales du Collège de France*. C'est la seule trace imprimée, bien confidentielle hélas !, d'un labeur immense. Il le mène principalement pendant le mois de « vacances » qu'il passe en famille, dans sa propriété de Rovéréaz, où il s'installe, chargé de documents. Le cadre est magnifique, propice à la méditation : de la terrasse, à travers les frondaisons, apparaît le bleu du Léman que domine, au-delà, la barrière majestueuse des Alpes. La préparation du cours se fait le matin et en début d'après-midi. La seule détente, il la trouve, accompagné de sa femme, à se promener

le soir, de 4 à 7 h et à bûcheronner dans l'immense parc boisé de son domaine.

La guerre terminée, la vie renaît dans Paris. Paul Fallot est élu Président de notre Société l'année même de la Libération. Dans son allocution de début d'année, il énonce un programme. Un an après, il peut dresser le bilan : le retard de l'impression des publications est rattrapé ; le nombre des membres a substantiellement augmenté ; un corps d'Associés et de Correspondants est créé pour honorer les maîtres étrangers de la géologie. Œuvre positive, et dont la marque reste.

Au cours de son mandat, il n'a pas infléchi sa rigueur de pensée. Il exprime un jour le regret « que, parfois, subsiste l'habitude des chasses gardées ou des domaines réservés, souvent si dommageable aux progrès de la Science. Il est bon que les jeunes aient le champ libre et la possibilité d'exercer leurs forces juvéniles sans se heurter à de telles barrières ». Leçon dont les jeunes d'alors, devenus adultes, devront se souvenir à leur tour.

Rappelons-nous aussi le dévouement que Paul Fallot a mis dans tous les mandats que la Société lui a confiés, sa fidélité à nos séances que, du premier rang, sa personnalité animait.

Un peu plus tard (1951) nous allons le rencontrer à la tête du Comité scientifique du Club alpin. Appuyée sur les commissions qu'il fait créer ou qu'il ranime, son action est double. A l'image de Lugeon, il encourage les études de glaciologie scientifique, longtemps tenues en sommeil dans notre pays : dans un recoin de son laboratoire, il va héberger un groupe enthousiaste, animé par R. Millecamps, pour l'étude des mouvements de la glace. D'autre part, d'entrée de jeu, le voilà qui bouscule les traditions, réclame et obtient l'adjonction de naturalistes, dont des géologues, aux grandes expéditions du Club alpin : ainsi grâce à son action, l'étude géologique de l'Himalaya pourra faire de grands progrès.

Cette extrême curiosité d'esprit s'est traduite en d'autres domaines. Craignant de suivre trop de sentiers battus, Paul Fallot a toujours marqué son intérêt pour des méthodes et des disciplines nouvelles. Ainsi, en 1946, dans le train qui roule sous l'Arlberg, écrit-il : « On ne parle ici que de travaux sur les axes optiques des minéraux, et leur orientation par rapport aux complexes pétrographiques. Il faudra que j'essaye de comprendre [...]. A première vue Ravel me paraissait incompréhensible, et maintenant je le trouve tout simple ! » De même l'occupent les études

paléo-océanographiques, cet « art de pousser les analyses lithologiques de toutes les assises à leur extrême limite et d'essayer de comprendre la genèse des roches », dira-t-il. L'étude des microfaunes, la technique des microfaciès dont on sait combien fructueux est devenu l'emploi, Paul Fallot n'a cessé, depuis longtemps, de s'y intéresser.

L'Académie des Sciences, qui lui avait décerné en 1931 son Grand Prix des Sciences physiques, lui assure, le 12 janvier 1948, une élection quasi-unanime dans la section de Géologie : il y succède à Léon Bertrand. Il a recherché la fonction, non seulement pour elle-même, mais surtout, pour mieux remplir sa mission : car, à ses yeux, plus qu'un honneur, c'est une charge. Douze années durant, il y fut « assidu et exemplaire » a dit Pierre Pruvost. Refusant la traditionnelle épée de l'Académicien, il invite à alimenter un fonds destiné aux jeunes géologues, qui, en leurs débuts, dans le domaine de la Science pure et spécialement dans leurs travaux de terrain, éprouvent des difficultés matérielles.

Sa rigueur de pensée et d'expression, sa profonde culture — dans les domaines de la philosophie, de la poésie, de la littérature, de l'histoire — conduisent Paul Fallot dans la commission du langage scientifique de l'Académie. Il luttera sans cesse contre la dégradation de la langue : « que tous les géologues se fassent une loi de n'employer les termes scientifiques que dans leur sens propre et originel, quitte, pour des objets définis, à soumettre au verdict de l'usage des mots nouveaux, rationnellement formés. Si tout le corps enseignant — *dont les responsabilités sont si lourdes vis-à-vis de l'avenir* — s'imposant cette règle l'imposait aux chercheurs et aux élèves, un frein efficace serait déjà mis à la glissade qui nous emporte vers la Tour de Babel ».

Et voilà que les honneurs l'atteignent de tous pays. Son excellente connaissance des principales langues européennes explique qu'il est sollicité, à cent occasions, pour effectuer des cycles de conférences sur les problèmes alpins et méditerranéens : universités et centres supérieurs d'Espagne (1949 et 1950), organisations belges (1948 et 1954), universités suisses (1952), facultés de Londres et d'Oxford (1953), universités allemandes (1956), autrichiennes (1958) ; et — ce qui réjouit particulièrement son cœur — Madrid et Barcelone l'appellent, au lendemain de la guerre, puis Rabat, devenue capitale d'un Maroc émancipé.

Les distinctions pleuvent. Il les tait, ne les

recherchant pas. Aussi convient-il aujourd'hui de les rendre publiques : déjà en 1938, Lugeon l'avait fait nommer Docteur *honoris causa* de l'Université de Lausanne. Après la guerre, c'est un long défilé, ininterrompu : Honorary Foreign Member de la Geological Society de Londres (1947), Membre d'honneur de la Société belge de Géologie et Conseiller d'honneur du Consejo superior de Investigaciones científicas de Madrid (1948), Correspondant de la Société géologique de Belgique et de la Real Sociedad española de Historia natural (1949), Membre d'honneur et Médaille Léopold von Buch de la Deutsche geologische Gesellschaft (1952), Foreign Member de la Geological Society of America et Associé étranger de l'Académie royale de Belgique (1954), Docteur *honoris causa* des Universités de Zurich (1956), de Madrid et de Grenade (1958), Membre étranger de l'Accademia nazionale dei Lincei de Rome (1959), Correspondant de la Geologische Gesellschaft de Vienne (1959), Membre étranger de l'Académie royale néerlandaise (1960). On mesure ainsi — à cette seule liste — le rayonnement de sa pensée, la renommée de son œuvre, dont a joui, à travers lui, toute la géologie française. Cela, il ne convient pas de l'oublier ! Un Livre, qui devait être jubilaire, va bientôt voir le jour, à sa mémoire. De cette grande fresque alpine et méditerranéenne, il encouragea l'idée. Hélas ! Il ne sera pas là pour recevoir l'hommage que plus de cent auteurs, étrangers pour la plupart à notre pays, ont ainsi voulu lui apporter.

L'homme, resté aussi simple, pour autant ne renonce pas à la mission qu'il juge essentielle : les travaux sur le terrain, plusieurs mois l'an. De 1945 à 1950, outre les Alpes, il retrouve le chemin de l'Andalousie, et consacre son activité aux zones internes des Cordillères bétiques, groupant autour de lui, sur les pentes de la Sierra Nevada, les fleurons de la jeune université espagnole, qui voient en lui un maître incontesté. Parfois, resté seul, il dit sa joie au correspondant ami (19 oct. 1947). Il est à Gor, en pleine cordillère : « Dans mes longues randonnées solitaires je laisse la parole aux oiseaux, aux grillons, à quelques vipères qui sifflent méchamment et aux innombrables chèvres ou moutons qui troublent mes rares sources [...]. Je suis dans un pays béni, me bourrant d'œufs (ah ! ces omelettes aux oignons), de sardines à l'huile, de fromage de brebis, de chocolat et de pommes frites. Le pain est blanc, fleur bon et dans un village voisin on le fait par miches de 7 livres. Vous devinez mon étonnement et mon émotion devant ces roues de voitures dont depuis quinze ans j'avais oublié

l'aspect ! » Il retrouve au Maroc, entre 1948 et 1956, son rôle de Conseiller scientifique, suivant, aidant, encourageant les jeunes géologues, du Rif à l'Anti-Atlas.

Quelques nuages passagers vont surgir.

En 1958, le revoilà cependant au Maroc, toujours ardent. Derrière lui, l'essentiel du Service géologique, dirigé par Jean Marçais, se rue vers le Rif septentrional. Aux abords de son domaine d'élection, la Dorsale, la zone marno-schisteuse doit être réétudiée, ses interprétations de jadis lui semblant fragiles : il guide les continuateurs de son œuvre, leur livre sa pensée, sans détours, et les encourage. Je dois témoigner de la noblesse d'âme peu commune et de la joie profonde avec laquelle il accueillit le renouvellement des vues sur ces domaines.

De même, en 1956, peut-il retrouver l'Espagne. Il me souvient de l'enthousiasme juvénile avec lequel il nous guidait, J.-M. Fontboté, R. Busnardo et moi, sur les routes d'Andalousie, et de sa joie à retrouver les paysages familiers : Murcie et ses jardins, la rudesse de Caravaca, les flancs majestueux de la Sagra, Cabra, Jaén, cent autres lieux chargés d'histoires, qui marquaient les phases de son effort d'antan. Et ce fut l'égrènement de ses nouveaux travaux espagnols, rectifiant, complétant ses vues antérieures.

Son effort, de solitaire, peut enfin devenir collectif. Que l'on se souvienne de sa plainte de 1937 : « Au vrai, j'ai longtemps espéré constituer une équipe de géologues français travaillant en Espagne méridionale. Mais très vite je me suis heurté aux difficultés du change, car on ne peut guère orienter vers de telles dépenses des jeunes gens qui n'ont pas une large aisance. Et en face de la pléiade des Allemands qui jouissent de facilités spéciales, en face des Hollandais dont la monnaie intacte rendait les déplacements peu onéreux, il fut impossible, avec notre maigre franc, d'entraîner de jeunes Français dans cette aventure. » Ce désir, que les événements l'obligèrent à refouler plus de trente ans durant, voici qu'il se réalise à partir de 1956 : les éléments d'une équipe ardente se sont, un à un, groupés autour du Maître et de son laboratoire. Une de ses grandes joies est de les voir apporter des touches nouvelles et inattendues à la toile qu'il a brossée autrefois. Il prend part active à cette action : on peut le voir, septuagénaire, se pencher sur les mystères de la Sierra Nevada, cartographiant, toujours avec le même enthousiasme et la même minutie, les abords de Guadix !

De ses élèves, Paul Fallot exige beaucoup, et cela sans le moindre esprit « tâtillon ». Tant pour

les aider que pour vérifier leurs conclusions, il leur consacre, sur le terrain, de longues semaines, que ce soit à l'étranger ou dans la lointaine province. En pleine période de « libération », en 1944, il n'hésite pas à visiter la Montagne Noire, fief de son assistant Bernard Gèze, et à faire à bicyclette — malgré un accident sérieux — plusieurs centaines de kilomètres sur des routes de montagne, afin de le conseiller et de le rassurer sur la validité de ses théories, alors jugées échelonnées...

Mais c'est au cœur de son laboratoire du Collège que Paul Fallot se trouve encore le mieux, fidèlement secondé par ses assistants, en particulier Georges Dubourdieu. Progressivement, après le désert de la guerre, les géologues en trouvent le chemin : élèves d'Algérie et surtout du Maroc, disciples d'Espagne, chercheurs allemands, italiens, d'autres encore, en attendant l'invité de la dernière heure, John Rodgers, qui va donner à Paul Fallot la joie de retrouver, au printemps 1960, sa chère Espagne. C'est là, dans ce calme laboratoire, à l'ordonnance nette de jadis, que se groupe, autour du « Patron », un essaim, toujours renouvelé, de jeunes enthousiasmes. Prompt à reconnaître la médiocrité ou la mollesse — qu'il a en horreur — Paul Fallot, de 1945 à 1960, forme patiemment, un à un, sans désir de grossir démesurément son effort, « un noyau solide de géologues éprouvés parmi les meilleurs de la nouvelle génération », comme le dira Pierre Pruvost.

De Kilian, Fallot a hérité un extrême souci de respecter l'originalité de ses élèves : il n'est que de jeter le regard sur la cohorte de géologues pouvant se réclamer de lui, pour voir combien chacun d'eux a gardé son individualité intacte, ses vues propres, son champ particulier d'action. En ce sens, Paul Fallot, s'il a fait école, n'a pas voulu faire « une École ». Mesure-t-on la difficulté à vaincre pour réussir cela ?

A ses disciples, il communique quotidiennement, par l'exemple, l'amour du travail et l'esprit de rigueur. De bonne heure arrivé à son laboratoire, parfois dès 7 h, l'on voit tard, de la rue, les soirs d'hiver, la sourde clarté de sa petite lampe de bureau.

Arrivé le premier, il part souvent le dernier, n'interrompant ses douze heures d'effort quotidien que du temps strictement nécessaire à la collation qu'il prend au laboratoire.

Ainsi seulement s'explique l'étonnante moisson que va traduire sa longue liste bibliographique : plus de 300 publications, et, parmi elles, quatre grands ouvrages, dont chacun eut valu

la notoriété à son auteur. Ainsi a été possible, parallèlement, son influence profonde et constante sur les jeunes cerveaux qu'il modela : venant s'asseoir à la table de chacun, s'informant des démarches, des tâtonnements, des progrès, passant des journées entières à aider à la détermination de fossiles récalcitrants, relisant et corrigeant par le menu — si longs soient-ils — les textes de ses collaborateurs, à qui il a appris à savoir lever la carte avec amour, à étudier scrupuleusement les matériaux récoltés, et enfin à écrire — dans une langue claire — le résultat de leurs investigations. Voyant ce qu'il a fait durant le quart de siècle où il illustra le Collège de France, l'on ne songe pas sans mélancolie que la guerre et ses séquelles ont, pour plus du tiers, compromis son effort...

*
* *

Il nous laisse une œuvre exceptionnelle. Il a été l'un des plus éminents Maîtres de la tectonique française, et son influence demeurera.

Son esprit, avide de concret et de progrès, s'accordait mal avec la tendance habituelle de l'enseignement universitaire. Il a cependant songé à rédiger un *Traité de tectonique générale* : ses cours, au début de la guerre, furent consacrés à son élaboration.

« Il faut faire table rase des doctrines scolaires, et reconstruire une science tectonique à la fois souple et rationnelle dans ses conceptions. Il faut d'abord redéfinir les termes dont on a mésusé, réétudier les phénomènes, en un mot repenser la tectonique toute entière, d'abord pour étudier les formes auxquelles ont abouti les dislocations, puis pour analyser le mécanisme des déformations dans le temps. » La rigueur de son esprit le pousse sans répit à l'analyse tectonique fouillée des chaînes étudiées, analyse qui ne pourra être faite qu'après clôture du cycle des études stratigraphiques en cours. » Aussi, devant la vision du peu que l'on sait et de l'immense tâche analytique encore nécessaire, Paul Fallot renonce à son dessein. On doit le regretter !

Sur le plan de la tectonique générale, il nous laisse cependant d'innombrables notions, qu'il n'a pas voulu codifier et qui, ayant fait leur chemin, nous paraissent aujourd'hui évidentes ! Des failles, il a ébauché (1943) une classification car « elles n'ont pas toutes la même origine ni n'émanent toutes du tréfonds de l'écorce » : failles de tassement ou d'accommodation, failles de chaînes plissées de couverture, failles des

socles anciens, les unes provenant du rejeu d'accidents de chaînes plus anciennes, les autres — qui s'avèrent rares d'après son enquête — ayant vraiment une origine corticale. Autre notion, aujourd'hui banale et alors (1943) assez peu répandue : « Les failles ne résultent pas de phénomènes uniques et brutaux, mais d'une infinité de rejeux échelonnés dans le temps. Toutes les failles sont « vivantes » durant de longues périodes qui peuvent embrasser des ères géologiques entières. »

Le problème des plis de couverture est l'un de ceux qui préoccupent le plus Paul Fallot. Voici plus de vingt ans il confie : « Quant aux charriages par gravité, à la mode de Schardt, j'y réfléchis. Si vous vous souvenez de mon modeste cours de l'an passé, j'ai invoqué cette action dans le Rif, mais avec une limitation de son effet. Je répugne encore à tout lui attribuer » (lettre du 10 oct. 1939). La chance le sert : les Alpes maritimes lui offrent le terrain idéal pour prouver dans les faits la notion — jusqu'alors théorique — des décollements de couverture. La série sédimentaire entre le dôme de Barrot et le massif de l'Argentera a glissé d'au moins 20 km vers le Sud-Ouest. Ce fait s'étend obligatoirement à toute la série de couverture subalpine, et par là jusqu'au Jura, ce décollement se communiquant de bas en haut, d'aval en amont si l'on veut, progressivement et sans lien possible avec les phases tectoniques rigides énoncées par Stille.

La notion de plis et de nappes « intercutanés » est liée à de telles translations de couverture. Le pli de la Roya, dans les Alpes maritimes, va lui servir de type. Des irrégularités du socle autochtone « provoquent un grippement local » de la série de couverture : « freinés, les termes inférieurs se redoublent et se cisailent dès lors que continue le mouvement des assises plus élevées. Celles-ci, tranquilles en apparence, subissent un transport en bloc et leur comportement demeure celui d'une série autochtone peu ou pas disloquée ». Dans le cas de la Roya, la flèche du chevauchement intercutané est au maximum — analysable — de 6 km.

Ces déplacements de couverture peuvent atteindre des proportions gigantesques. L'interprétation que Paul Fallot propose de l'origine des Alpes calcaires septentrionales en serait une illustration. Dès lors, parler de « racines » de ces nappes devient illusoire : Paul Fallot propose le terme de « patrie » pour le territoire d'où la couverture est partie. Autre terme qui a fait fortune, celui de « rabotage basal » qu'il applique en 1944 aux dislocations anarchiques — qu'il vient d'analyser — de la zone subbétique, pour indiquer le fait que des couches, redressées ou plis-

sées, sont tronquées à leur base, en sifflet, au niveau de la surface de glissement, reposant ainsi de chant sur celle-ci.

Paul Fallot a été un grand maître de la tectonique alpine. Il n'a guère fait d'incursions dans les édifices plus anciens, sinon en quelques courses avec ses collaborateurs dans les Atlas marocains (avec G. Choubert,...) la Montagne Noire (avec B. Gèze) ou plus récemment la Normandie (avec M.-J. Graindor). Il a exprimé l'opinion que la chaîne hercynienne et la chaîne alpine présentaient de considérables différences structurales et mécaniques. Et de conclure : « D'une manière générale, la tectonique comparée fait de plus en plus ressortir, pour peu qu'on l'aborde en se libérant de tout esprit de système, la variété de style des divers grands édifices orogéniques, qu'ils soient d'âges différents ou même plus ou moins contemporains. »

*
* *

La vie, l'œuvre, traduisent l'homme. Une énergie physique sans défaillance, un désintéressement personnel total, une franchise redoutable et — en matière scientifique — sans égard pour l'amitié, une loyauté inconditionnelle à remplir son devoir ou ses engagements, étaient tempérés par son extrême urbanité.

Chaque fois qu'il l'estimait nécessaire prenant parti, il s'engageait sans restriction quand il jugeait la cause juste, l'action profitable à la science ou à son pays, n'hésitant pas à fustiger durement ou à combattre brutalement — et souvent à contre-cœur — ce qu'il estimait tendancieux, médiocre ou vil : mais la courtoisie des manières adoucissait le tranchant de la pensée.

A certains, il a pu paraître tout d'une pièce, et il est vrai qu'il admettait mal les compromis, en lesquels il voyait souvent des « combinaisons ». Mais nous tous, ses élèves, avons constaté, les uns après les autres — à Nancy, à Paris ou ailleurs — les preuves sans nombre d'une bienveillance qu'il ne voulait pas faiblesse, mais qui l'amenait, de son propre mouvement, à aider puissamment de ses deniers tel géologue dans un besoin pressant. De sa sensibilité aussi, qu'il masquait de toutes ses forces et que, seules, des lettres à des intimes laissent percer.

Tout à la joie de voir se soulever les voiles de la Méditerranée occidentale, n'a-t-il pas aussi confié en 1930 : « Toutes les carrières scientifiques ne valent pas le plus humble des arts, parce que la source de l'art est dans l'émotion amoureuse

alors que celle de la science n'est que dans un orgueilleux désir de connaître. » Cette satisfaction totale que la science ne permet jamais complètement d'atteindre, Paul Fallot l'a trouvée dans la musique. Il l'a acquise tout enfant, elle l'a suivi toute sa vie. Ne consacrait-il pas, quand son métier ne l'éloignait point des siens, chaque soirée du mercredi à la séance familiale de musique de chambre ? Et ce culte s'est transmis à sa descendance puisque deux de ses enfants se sont ainsi acquis une enviable renommée.

En 1960, au soir de sa vie, alors qu'une loi implacable va l'arracher à ce laboratoire en pleine expansion qu'il a forgé et aimé, le revoilà peignant, en son dernier cycle de leçons, la grande fresque de la Méditerranée occidentale. Depuis vingt-cinq ans, les découvertes ne cessant de pleuvoir, de grandes solutions semblent se dessiner. Le mardi 23 février, il arrive à son terme. Ce n'est pas sans une poignante émotion que ses élèves, étroitement serrés comme pour mieux se défendre du froid des jours à venir, entendent sa voix prononcer :

« Mais tout cela est un nouveau champ de recherches qui se place, pour moi, hors du temps.

« A vous de le labourer. A vous aussi de rectifier les vues synthétiques que nous avons examinées ici au cours des années, ces vues dont j'ai souligné au passage les faiblesses, les incertitudes, les lacunes et souvent les contradictions.

« De l'autre monde, dans dix ou vingt ans, j'espère vous voir établir sur quelques dizaines de feuilles au 50 000^e bien levées — *fondement essentiel de toute synthèse géologique valable* — des interprétations nouvelles et plus adéquates que celles qui nous servent ici d'hypothèses de travail.

« Et je me réjouis de vous voir alors représenter le visage de cette Méditerranée occidentale, objet de nos soins, sous des traits bien différents de notre caricature d'aujourd'hui. »

A travers ces phrases, que de noblesse d'âme, de modestie, celles d'un grand savant !

« Sa carrière de géologue des montagnes n'aura connu que les joies de l'ascension, celles qui permettent d'embrasser des horizons de plus en plus clairs et élargis. Le sort lui a épargné l'heure mélancolique de la descente au crépuscule, qu'il redoutait » (Pierre Pruvost). Au printemps 1960, un mal inattendu et implacable va transformer en calvaire les derniers mois de sa vie.

Il accepte l'épreuve d'une âme sereine. Retiré dans son domaine de Rovéréaz, alors que la pluie inonde le paysage, il écrit en juillet : « Je vis confiné dans mon bureau, le dos au feu, le ventre à table, à revoir des manuscrits. Voyez comme la vie est belle... » En septembre il regagne Paris et réussit douloureusement à gagner son laboratoire. Je l'y vois alors. La flamme intense de ses yeux illumine son visage émacié : il s'informe de l'avancement des travaux de ses disciples et esquisse encore des projets. A la fin septembre, d'une main malhabile, il écrit au correspondant ami : « J'ai consacré mon été à parachever deux mémoires sur l'Andalousie, ainsi qu'une feuille au 50 000^e. J'ai en chantier la fin de la notice de cette feuille de Guadix dont les figures s'achèvent mais dont je ne puis plus dessiner les planches... » Au soir du 20 octobre, il dicte encore le courrier à sa fidèle secrétaire. Au matin du 21, le mal le terrasse...

Au nom de la Société géologique toute entière, à sa femme, à ses enfants, je voudrais dire notre sympathie attristée, et aussi les remercier d'avoir permis — par leur présence et leur affection — la réalisation de cette grande œuvre.

La moisson qu'il a semée germe déjà. Le nom de Paul Fallot sera mêlé, demain comme aujourd'hui, aux grands bouleversements que nous vivons dans les domaines alpins et méditerranéens.

De cette âme noble, de ce grand serviteur de la science et de son pays, la mémoire ne passera pas.

Liste des publications de Paul Fallot

1910. 1. Sur quelques fossiles pyriteux du Gault des Baléares. *Ann. Univ. Grenoble*, t. XXII, n° 3, 33 p., 8 fig., 3 pl. photo.

1911. 2. Note préliminaire sur l'Oligocène de Majorque. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 38-39 (en coll. avec J. Bous-sac).

3. Sur l'existence possible de phénomènes de chargement à l'île de Rhodes. *Ibid.*, p. 126-127, et *B. S. G. F.* (4), XI, p. 162-169, 3 fig.

1912. 4. Les Rhynchonelles portlandiennes, néocomiennes et mésocrétaciques du Sud-Est de la France. *C. R. Ac. Sc.*, t. 155, p. 89-91 (en coll. avec Ch. JACOB).

1913. 5. Étude sur les Rhynchonelles portlandiennes, néocomiennes et mésocrétacées du Sud-Est de la France. *Mém. Soc. pal. suisse*, t. XXXIX, 82 p., 11 pl. (en coll. avec Ch. JACOB).
1914. 6. Sur la tectonique de la Sierra de Majorque (Baléares). *C. R. Ac. Sc.*, t. 158, p. 645-647.
7. Sur la stratigraphie de la Sierra de Majorque (Baléares). *Ibid.*, t. 158, p. 817-819.
8. La nappe de charriage du Montsech, en Catalogne. *Ibid.*, t. 158, p. 1222-1224 (en coll. avec Ch. JACOB).
1915. 9. A propos de la tectonique des Pyrénées catalanes. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 154-155 (en coll. avec Ch. JACOB).
1916. 10. Sur la présence de l'Aptien dans la Sierra de Majorque (Baléares). *C. R. Ac. Sc.*, t. 162, p. 838-840.
11. Sur la présence de l'Aptien dans la Sierra de Majorque. *Trav. Lab. Géol. Univ. Grenoble*, t. XI, p. 1-11, 1 fig.
1917. 12. Sur la géologie de l'île d'Ibiza (Baléares). *C. R. Ac. Sc.*, t. 164, p. 103-104.
13. Sur la tectonique d'Ibiza (Baléares). *Ibid.*, t. 164, p. 186-187.
1918. 14. Au sujet de l'âge des phénomènes de charriage de la Chaîne Bétique. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 168-169.
1920. 15. Observations sur les phénomènes de charriage du centre de la Sierra de Majorque (Iles Baléares). *C. R. Ac. Sc.*, t. 170, p. 739-741.
16. Sur l'extension des phénomènes de charriage dans la Sierra de Majorque (Baléares). *Ibid.*, t. 170, p. 848-850.
17. Observations nouvelles sur la tectonique de la Sierra de Majorque. *Ann. Univ. Grenoble*, t. XXXII, n° 2, p. 389-396, 1 pl. de coupes.
18. La faune des marnes aptiennes et albiennes de la région d'Andraitx (Majorque). *Trab. Mus. nac. Cienc. nat.*, Madrid, ser. geol., n° 26, 68 p., 25 fig., 3 pl. photo.
19. Sur l'existence et les faciès de divers étages jurassiques dans la province de Tarragone (Catalogne). *C. R. Ac. Sc.*, 1920, t. 171, p. 19-22 (en coll. avec W. KILIAN).
20. Remarques sur le genre *Silesites*. In Contributions à l'étude des Céphalopodes paléocrétacés du Sud-Est de la France, publ. sous la dir. de W. KILIAN. *Mém. Expl. Carte géol. dét. France*, p. 207-228, 8 fig.
21. Observations sur diverses espèces du Gargasien bathyal alpin et en particulier sur la faune de Blieux. *Ibid.*, p. 229-266, 21 fig., 3 pl.
1921. 22. Sur l'âge des formations à lignites de l'île de Majorque. *C. R. Ac. Sc.*, t. 172, p. 790-795 (en coll. avec Ch. DEPÉRET).
23. Sur l'extension verticale du faciès marneux à Céphalopodes pyriteux dans l'île d'Ibiza. *Ibid.*, t. 173, p. 91-94 (en coll. avec H. TERMIER).
24. Observations au sujet de la stratigraphie des terrains jurassiques de la chaîne de Cardo. *Bull. Inst. cat. Hist. nat.*, oct., p. 118-130, 2 fig., 3 pl. (en coll. avec M. FAURA Y SANS et R. BATALLER).
1922. 25. Étude géologique de la Sierra de Majorque. Paris, libr. Béranger, in-4°, 480 p., 214 fig., 8 pl. photo, 74 coupes en 9 pl., 1 pl. schémas paléogéogr.
26. Carte géologique de la Sierra de Majorque : 3 feuilles au 50 000^e en couleurs (Andraitx, Soller, Pollensa). Paris. [Présentation : *C. R. somm. S. G. F.*, 1922, p. 202-203.]
27. Le Pliocène marin sur les côtes méditerranéennes d'Espagne. *C. R. Ac. Sc.*, t. 175, p. 281-283 (en coll. avec M. GIGNOUX).
28. Le Quaternaire marin sur les côtes méditerranéennes d'Espagne. *Ibid.*, t. 175, p. 404-406 (en coll. avec M. GIGNOUX). [Présentation des notes des nos 27 et 28 : *C. R. somm. S. G. F.*, 1922, p. 202.]
29. (Remerciements pour l'attribution du Prix Fontannes.) *C. R. somm. S. G. F.*, p. 102-103.
30. Observations sur la faune des terrains jurassiques de la région de Cardo et de Tortosa (prov. de Tarragone). *Treb. Inst. cat. Hist. nat.* (vol. 1921-1922), fasc. II (éd. 1923), 263 p., 13 fig., 13 pl. photo (en coll. avec F. BLANCHET). [Présentation : *C. R. somm. S. G. F.*, 1924, p. 52.]
1923. 31. Le problème de l'île de Minorque. *B. S. G. F.* (4), XXXIII, p. 3-44, 7 fig., 4 pl.
32. Ammonites nouvelles des Iles Baléares. *Trab. Mus. nac. Cienc. nat.*, Madrid, ser. geol., n° 32, 85 p., 32 fig., 6 pl. photo (en coll. avec H. TERMIER).
33. Esquisse morphologique des Iles Baléares. *Rev. Géogr. alpine*, Grenoble, vol. XI, fasc. II, p. 421-448, 4 fig., 4 pl.
34. Reseña morfológica de la Isla de Menorca. *Rev. Menorca*, t. XVIII, p. 333-339.
35. A travers la Sierra de Majorque (conférence faite à la Société de Géographie). *La Géographie*, t. XXXIX, 4 p.
36. Mapa geologic de Catalunya al 1/100 000^e : feuille 41, Tortosa (en coll. avec M. FAURA Y SANS et R. BATALLER).
1924. 37. Le ravitaillement de la France en pétrole. *Les Alpes militaires*, p. 192-197.
38. La formation des chaînes de montagnes. *Bull. Ec. Perfect. Off. Rés. XX^e Région*.
1925. 39. Au sujet de la tectonique des Baléares. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 78-80.
40. [Présentation du mémoire de M. G. CORROY « Le Néocomien de la bordure orientale du Bassin de Paris. »] *C. R. somm. S. G. F.*, p. 73-74.
41. A propos de la géologie du Sud des Pyrénées. *Ibid.*, p. 80-82 (en coll. avec Ch. JACOB).
42. Observaciones geológicas en la región central de la isla de Mallorca. *Bol. real Soc. esp. Hist. nat.*, Madrid, t. XXV, p. 488-498, 5 fig. (en coll. avec B. DARDER).
1926. 43. Sur la tectonique de la bordure méridionale du bassin de l'Ebre et des montagnes du littoral méditerranéen entre Tortosa et Castellon (Espagne). *C. R. Ac. Sc.*, t. 182, p. 226-228 (en coll. avec R. BATALLER).
44. Sur la tectonique des montagnes entre Montalban et le littoral de la province de Castellon (Espagne). *Ibid.*, t. 182, p. 275-277 (en coll. avec R. BATALLER).
45. Sur l'allure d'ensemble et sur l'âge des plissements dans les montagnes du Bas-Aragon et du Maestrazgo. *Ibid.*, t. 182, p. 398-400 (en coll. avec R. BATALLER).
46. Remarques au sujet des récents travaux de M. Darder sur la géologie de Majorque. *Bol. real Soc. esp. Hist. nat.*, Madrid, t. XXVI, p. 115-132.
47. Au sujet de la tectonique des Baléares et de la chaîne Ibérique. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 105-107.
48. L'île de Majorque. Livret-Guide XIV^e Congr.

- géol. intern., Madrid, 1926, Exc. C 5, 113 p., 18 fig., 8 pl., 2 tabl. strat. (en coll. avec B. DARDER).
- 48 bis. La Isla de Mallorca. *Ibid.* (éd. en espagnol, un peu différente de l'éd. en français).
49. Révision des feuilles de Montbéliard, Ornans et Ferrette au 80 000^e. *Bull. Serv. Carte géol. France*, C. R. Coll. Camp. 1925, t. XXX (1925-1926), n° 162 (éd. 1927), p. 71-73.
50. Observations tectoniques sur le versant méridional des Pyrénées centrales et orientales (en coll. avec Ch. JACOB, R. CIRY et G. ASTRE). Voir chap. II : La terminaison orientale de la série de Pedra Forca et son prolongement vers l'Ouest entre la Sierra del Cadi et le Sègre (en coll. avec G. ASTRE). *C. R. XIV^e Congr. géol. intern., Madrid 1926* (éd. 1927), p. 36-51, 7 fig.
51. Contribution à la connaissance des terrains néogènes et quaternaires marins sur les côtes méditerranéennes d'Espagne. *Ibid.*, p. 413-521, 39 fig., pl. A à N (en coll. avec M. GIGNOUX).
1927. 52. Sur la bordure nord-est du Massif crétacé du Bas-Aragon. *C. R. Ac. Sc.*, t. 184, p. 1467-1469 (en coll. avec R. BATALLER).
53. Sur la région montagneuse comprise entre Priego et Cabra (Andalousie). *Ibid.*, t. 185, p. 1287-1289.
54. Sur la géologie de la région d'Antequera (Andalousie). *Ibid.*, t. 185, p. 1499-1501. [Présentation des notes des n°s 53 et 54 : *C. R. somm. S. G. F.*, 1928, p. 150-151.]
55. Itinerario geológico a través del Bajo Aragón y el Maestrazgo. *Mem. real Ac. Cienc. y Artes Barcelona*, 3^a ep., vol. XX, n° 8, p. 227-367, 46 fig., 7 pl. photo, 1 carte en couleurs au 160 000^e (en coll. avec R. BATALLER.) [Présentation des notes des n°s 52 et 55 : *C. R. somm. S. G. F.*, 1927, p. 178-179.]
56. Révision de la feuille de Montbéliard au 80 000^e. *Bull. Serv. Carte géol. France*, C. R. Coll. Camp. 1926, t. XXXI (1926-1927), n° 166 (éd. 1928), p. 77-84, 2 fig.
1928. 57. Révision de la feuille de Montbéliard au 80 000^e. *Ibid.*, C. R. Coll. Camp. 1927, t. XXXI (1927-1928), n° 170, p. 35-39.
58. Les gisements de Burdigalien à plantes de Majorque. *Ann. Soc. géol. Nord, Lille*, t. LIII, p. 5-19, 1 fig., 1 pl. photo.
59. Sur la terminaison occidentale de la Sierra de Cazorla (Andalousie). *C. R. Ac. Sc.*, t. 186, p. 89-91.
- 59 bis. Sobre la terminación occidental de la Sierra de Cazorla (Andalucía). *Don Lope de Sosa*, Crón. prov. Jaén, año XVI, n° 180, p. 275-277. (Traduction de la note du n° 59.)
60. Sur la partie centrale des Sierras de Segura (Andalousie). *C. R. Ac. Sc.*, t. 186, p. 157-159. [Présentation : *C. R. somm. S. G. F.*, 1928, p. 151.]
61. Notes stratigraphiques sur la chaîne subbétique. *Bol. real Soc. esp. Hist. nat.*, t. XXVIII : I. Sur deux gisements de Lias, p. 105-110, 1 fig. ; II. Sur les marno-calcaires rouges sénoniens aux environs de Priego de Córdoba, p. 217-220 ; III. Observations sur la géologie des environs de Cazorla (prov. de Jaén), p. 273-288 et p. 321-345, 13 fig., 1 pl. profils, 2 pl. photos. [Présentation : *C. R. somm. S. G. F.*, 1929, p. 162.]
62. [Remarques sur les travaux de M. Blumenthal en Andalousie.] *C. R. somm. S. G. F.*, 1928, p. 151-152.
63. Au sujet des Mémoires de M. Blumenthal sur l'Andalousie. *Ibid.*, p. 157-159.
64. Sur l'âge des plissements dans la partie est de la chaîne bétique. *Ibid.*, p. 163-164.
65. Observations géologiques sur la région de Vélez Rubio. *C. R. Ac. Sc.*, 1928, t. 187, p. 988-990 (en coll. avec R. BATALLER).
66. La limite septentrionale des charriages subbétiques entre la Sierra Sagra et le Rio Segura. *Ibid.*, t. 187, p. 1150-1152. [Présentation des notes des n°s 65 et 66 : *C. R. somm. S. G. F.*, 1929, p. 162-163.]
1929. 67. Sur la Secondaire des massifs charriés subbétiques entre Moratalla et la bordure de la zone bétique. *C. R. Ac. Sc.*, t. 188, p. 67-69.
68. Sur la structure de la zone subbétique entre Moratalla et la zone bétique. *Ibid.*, t. 188, p. 263-265.
69. Rapports du Subbétique avec le Bétique dans les Sierras Tercia et Espuña (prov. de Murcie). *Ibid.*, t. 188, p. 404-406.
70. Sur la date des derniers phénomènes orogéniques dans les zones subbétique et bétique à hauteur de Caravaca. *Ibid.*, t. 188, p. 717-719, 1 fig. [Présentation des notes des n°s 68 à 71 : *C. R. somm. S. G. F.*, 1929, p. 163-164.]
71. Sur la présence d'une variété de jumillite aux environs de Calasparra (prov. de Murcie). *Ibid.*, t. 188, p. 800-802 (en coll. avec E. JÉRÉMINE).
72. Esquisse géologique du massif de la Sierra Espuña (prov. de Murcie). *Bol. real Soc. esp. Hist. nat.*, t. XXIX, p. 199-215, 7 fig., 1 pl. photo.
73. Note préliminaire sur les formations néogènes des zones subbétique et bétique selon la transversale de Caravaca (prov. de Murcie). *Mem. real Soc. esp. Hist. nat.*, t. XV (tome en hommage à Ignacio Bolívar), p. 247-256, 2 fig. [Présentation des notes des n°s 72 et 73 : *C. R. somm. S. G. F.*, 1931, p. 65-66.]
74. Les ressources en or de la France et de ses colonies. *In The gold resources of the World. XV intern. geol. Congr. South Africa 1929*, rapp. n° 13, p. 145-147 (en coll. avec L. THIÉBAUT). [Présentation : *C. R. somm. S. G. F.*, 1931, p. 230.]
75. Révision de la feuille de Montbéliard au 80 000^e. *Bull. Serv. Carte géol. France*, C. R. Coll. Camp. 1928, t. XXXIII, n° 176 (éd. 1931), p. 60-63, 2 fig.
76. Remarques sur une variété nouvelle de jumillite et sur l'extension des laves de ce groupe. *C. R. Congr. Soc. sav. Paris et Dépts*, Paris, sect. Sc. (éd. 1932), p. 109-121, 2 fig. (en coll. avec E. JÉRÉMINE)
- 1929-1934. Articles parus in *Géologie de la Méditerranée occidentale*. Barcelone (vol. I et II : Études et observations faites au cours du Congr. géol. intern., 14^e sess. Espagne, 1926. Vol. IV : Association pour l'étude géologique de la Méditerranée occidentale) :
77. Lettre-préface. Vol. I (1929-1930), 1^{re} part., n° 1 (éd. 1929), p. v-vii.
78. La question de Minorque. Rapports stratigraphiques entre les îles Baléares et la zone subbétique, vol. II (1930-1932), part. V, n° 39 (éd. 1934), 1 p., 1 pl. (schéma structural des plissements alpins du Sud de l'Espagne, reproduite vol. IV, 2^e part., n° 1).
79. Observations géologiques entre Calasparra et Cieza, vol. IV (1930-1934), 1^{re} part., n° 1 (éd. 1933), 9 p., 9 fig. (en coll. avec R. BATALLER).
80. Essais sur la répartition des terrains secondaires et tertiaires dans le domaine des Alpides espagnoles, vol. IV, 2^e part. n° 1. Introduction (mai 1931), p. 1-8, 1 pl., 1 fig. — I : Le Trias (déc. 1931), p. 9-28, 1 pl. — II : Le Lias (déc. 1932), p. 29-64, 2 fig., 1 pl., 1 tabl. — III : Le Dogger (août 1933), p. 65-72. —

- IV : Le Jurassique supérieur (janv. 1934), p. 73-118, 12 fig., 2 pl., 1 tabl. [Présentation des notes des nos 79 et 80 : *C. R. somm. S. G. F.*, 1933, p. 250-251.]
1930. 81. Les étapes de la colonisation anglaise et l'essor de l'Union sud-africaine. [*Bull. Soc. industr. Est*, n° 196, p. 27-46.]
82. État de nos connaissances sur la structure des chaînes bétique et subbétique. Livre jubilaire Soc. géol. France, p. 279-305, 2 fig., 1 pl. en couleurs. [Rectifications : *C. R. somm. S. G. F.*, 1931, p. 66.]
83. Comparaison stratigraphique entre l'extrémité occidentale des zones bétique et pénibétique d'Andalousie et le Nord de l'arc rifain. *C. R. Ac. Sc.*, t. 191, p. 144-146 (en coll. avec A. MARÍN et M. BLUMENTHAL).
84. Observations géologiques sur la chaîne calcaire du Rif espagnol du Djebel Musa à Xauen. *Ibid.*, t. 191, p. 382-384 (en coll. avec M. BLUMENTHAL et A. MARÍN).
85. Sur la chaîne calcaire du Rif espagnol entre Xauen et l'Oued M'ter. *Ibid.*, t. 191, p. 436-438 (en coll. avec A. MARÍN et M. BLUMENTHAL).
86. Sur l'interprétation tectonique du Nord-Ouest du Rif espagnol. *Ibid.*, t. 191, p. 1463-1465 (en coll. avec M. BLUMENTHAL).
87. Observations géologiques sur le Nord-Ouest du Rif marocain. *B. S. G. F.*, (4), XXX, p. 659-735, 4 pl. (en coll. avec A. MARÍN et M. BLUMENTHAL).
1931. 88. Sur la répartition des faciès dans le Rif espagnol et sur leur caractère particulier. *C. R. Ac. Sc.*, t. 192, p. 55-57 (en coll. avec A. MARÍN).
89. Sur la géologie des environs de Xauen (Rif espagnol). *Ibid.*, t. 193, p. 245-247.
90. Sur le massif paléozoïque de Talambot (Rif espagnol). *Ibid.*, t. 193, p. 424-426, 1 fig.
91. Les accidents marginaux de la chaîne calcaire du Rif au Nord de l'Oued Lau. *Ibid.*, t. 193, p. 466-468. [Présentation des notes des nos 89 à 91 : *C. R. somm. S. G. F.*, 1931, p. 200-201.]
92. Contribution à l'étude du Jurassique supérieur subbétique. *Bol. real Soc. esp. Hist. nat.*, t. XXXI, p. 113-132, 11 fig., 1 pl. [Présentation : *C. R. somm. S. G. F.*, 1931, p. 229-230.]
93. Notes stratigraphiques sur la chaîne subbétique. V. Sur le faciès du Dogger dans la province de Murcie. *Bol. Soc. esp. Hist. nat.*, t. XXXI, p. 301-304, 1 fig.
94. Observations au sujet de divers travaux récents sur le bas Aragon et la Chaîne ibérique. *Bull. Inst. cat. Hist. nat.*, Barcelone, vol. XXXI, fasc. 1, p. 1-11 (en coll. avec R. BATALER).
95. Note préliminaire sur le Crétacé de la région de Soria. *Ibid.*, vol. XXXI, p. 212-218.
96. Nota geológica sobre la región de Puerto Capaz. *Notas y Com. Inst. geol. y min. España*, vol. III, n° 3, p. 35-39, 1 pl. (en coll. avec A. MARÍN).
97. Carte géologique de la France au 80 000^e : feuille de Montbéliard (n° 114), 2^e éd. (éd. 1933). Paris, Serv. Carte géol. France (en coll. avec G. CORROY, G. GARDET, A. NORDON, L. MEYER et M^{lle} COUSIN). [Remarques et rectifications : *C. R. somm. S. G. F.*, 1934, p. 212.]
98. Notice explicative de la feuille de Montbéliard, 2^e éd. (éd. 1933). Paris, Serv. Carte géol. France (en coll. avec G. CORROY).
99. El Flysch transgresivo sobre el Paleozoico del Rif. *Notas y Com. Inst. geol. y min. España*, vol. III, n° 3, p. 16-19 (en coll. avec A. MARÍN) (traduction en espagnol de la note du n° 100).
1932. 100. Le Flysch transgressif sur le Paléozoïque rifain. *C. R. Ac. Sc.*, t. 194, p. 382-384.
101. Sur la géologie des confins des provinces de Murcie et d'Alicante. *C. R. Ac. Sc.*, t. 194, p. 114-116.
102. Sur la géologie de la région de Punta Pescadores (Rif espagnol). *Ibid.*, t. 194, p. 189-192 (en coll. avec A. MARÍN).
103. Sur les accidents de la chaîne du Rif selon la transversale de Xauen. *Ibid.*, t. 194, p. 552-554.
104. Sur l'extension vers le Sud-Est des chevauchements marginaux de la chaîne calcaire du Rif espagnol. *Ibid.*, t. 194, p. 794-797.
1932. 105. Sur les connexions de la série à faciès alpins identifiée entre la Sierra Sagra et Alicante. *Ibid.*, t. 194, p. 1364-1366.
106. Données stratigraphiques et tectoniques nouvelles sur la feuille de Montbéliard. *Bull. Serv. Carte géol. France (1931-1932)*, n° 181, t. 34. — Introduction, p. 337-340. — Esquisse géologique des abords du Doubs de Villars-sous-Dampjoux à Brémencourt, p. 392-428, 1 fig., 1 pl. de 24 prof. géol., 1 carte géol. coul. au 30 000^e. — Note stratigraphique préliminaire sur la région comprise entre Baume-les-Dames et Brémencourt, p. 341-367 (en coll. avec G. CORROY). — Observations tectoniques générales sur la feuille de Montbéliard, p. 429-437, 1 fig., 1 pl. (en coll. avec G. CORROY). [Présentation : *C. R. somm. S. G. F.*, 1933, p. 251-252.]
107. Notes stratigraphiques sur la zone subbétique. VI. Sur quelques détails de la stratigraphie de la Sierra de Crevillente. *Bol. Soc. esp. Hist. nat.*, t. 32, p. 171-177, 2 fig.
108. Maroc septentrional. *Géol. et Mines France Outre-Mer*, Paris, p. 129-151, 10 fig.
109. Nota sobre la constitución de la Cadena del Rif. *Notas y Com. Inst. geol. y min. España*, vol. IV, n° 4, p. 15-22, 1 pl. coul. (en coll. avec A. MARÍN). [Présentation : *C. R. somm. S. G. F.*, 1933, p. 251.]
110. Observations géologiques entre Midelt et Ksar-es-Souk (Maroc oriental). *B. S. G. F.*, (5), II, p. 337-355, 5 fig., 1 pl. (en coll. avec E. ROCH).
111. Essai de définition des traits permanents de la paléogéographie secondaire dans la Méditerranée occidentale. *Ibid.*, (5), II, p. 533-552, 7 fig.
1933. 112. Esquisse géologique du Nord du Maroc, état de 1931 : échelle 1/1 000 000^e. 1 carte en noir. Paris (en coll. avec J. BOURCART, J. LACOSTE et J. MARÇAIS). [Présentation : *C. R. somm. S. G. F.*, 1933, p. 251.]
113. Observations géologiques dans le massif du Djebel Kelti (Maroc espagnol). *C. R. Ac. Sc.*, t. 196, p. 194-196, 1 fig.
114. Sur les racines du témoin du massif de Chauen (Rif espagnol). *Ibid.*, t. 196, p. 495-497.
115. Sur le raccord des dislocations de Punta Pescadores avec celles de la chaîne calcaire du Rif. *Ibid.*, t. 196, p. 714-716, 1 fig. (en coll. avec A. MARÍN).
116. Sur la constitution d'ensemble de la chaîne calcaire du Rif espagnol de Ceuta à Punta Pescadores. *Ibid.*, t. 196, p. 871-873, 1 fig. (en coll. avec A. MARÍN).
117. Le Flysch du Rif espagnol. *C. R. Ac. Sc.*, t. 197, p. 927-929 (en coll. avec L. DONCIEUX).
118. Rapport sur l'attribution du Prix Fontannes à M. E. ROCH. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 140-142.
119. L'enllaç de Menorca amb les cadenes alpines. *Bull. Inst. cat. Hist. nat.*, Barcelone, vol. XXXIII, nos 6-7, p. 316-321.

1934. 120. Sur les connexions de la chaîne ibérique. *Ibid.*, vol. XXXIII, nos 8-9, p. 382-387, 1 carte en noir. [Présentation : *C. R. somm. S. G. F.*, 1934, p. 212-213.]
121. Observations à propos de la 2^e édition de la feuille de Montbéliard. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 220-221.
122. Sur la série liasique du pays de Skoura (Haut-Atlas marocain). *C. R. Ac. Sc.*, t. 199, p. 1135-1138, 1 fig. (en coll. avec L. MORET et E. ROCH).
1935. 123. Observations géologiques sur la Sierra Arana entre Grenade et Guadix. *Mem. Soc. esp. Hist. nat.*, t. XVII, mem. 1^a, 74 p., 6 fig., 9 pl. (en coll. avec M. BLUMENTHAL).
124. L'âge du Flysch de la périphérie de la chaîne calcaire du Rif. *C. R. Ac. Sc.*, t. 200, p. 76-78, 1 fig. (en coll. avec L. DONCIEUX).
125. Sur la présence du Lias à *Rhynchonellina* dans le Rif espagnol. *Ibid.*, t. 200, p. 154-156 (en coll. avec G. DUBAR).
126. Rapport sur l'attribution du Prix Fontannes à M. J. LACOSTE. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 131-134.
127. La formation des géologues et prospecteurs coloniaux à l'Institut de Géologie appliquée de l'Université de Nancy. *C. R. VII^e sess. Congr. intern. Mines, Metall. et Géol. appl.*, Paris, 20-26 oct. 1935, Section Géol. appl., t. II, p. 971-973.
1936. 128. Nuevas observaciones sobre el Flysch del Rif Español. *Bol. Inst. geol. y min. España*, t. 54, p. 1-198, 38 fig., 3 pl. (en coll. avec L. DONCIEUX). [Présentation : *C. R. somm. S. G. F.*, 1938, p. 60.]
129. Rapport sur l'attribution du Prix Viquesnel à M. G. DUBAR. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 181-183.
130. Essai sur la géologie du Rif septentrional. *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*, n° 40, 500 p. in-4°, 101 fig., 7 pl. prof. géol., XVIII pl. schémas faciès. [Présentation : *C. R. somm. S. G. F.*, 1938, p. 60-61.]
1937. 131. Notice sur les titres et travaux scientifiques de M. P. FALLOT. Nancy, Soc. Impr. typograph., 59 p.
1938. 132. Rapport sur l'attribution du Prix Viquesnel à M. L. GLANGEAUD. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 176-178.
133. Sur la possibilité d'effectuer des recherches de pétrole dans le Nord et le Nord-Est de la France (Rapport d'ensemble). *Ann. Off. nat. Combust. liq.*, n° 3, p. 439-458, 2 fig., 6 pl. par A. ROBAUX et M. BERNATSKY (en coll. avec P. PRUVOST).
1939. 134. Carte géologique de la France au 80 000^e feuille d'Épinal (n° 85), 2^e éd. Paris, Serv. Carte géol. France. Coordination des contours effectués par divers auteurs. [Présentation : *C. R. somm. S. G. F.*, 1939, p. 216.]
135. La Cordillera del Rif. *Mem. Inst. geol. min. España*, 2 vol. in-8°, 817 p., 202 fig., atlas in-folio XXII pl. (en coll. avec A. MARÍN). [Présentation : *C. R. somm. S. G. F.*, 1943, p. 73-75.]
136. Mapa geológico de la zona española de Protectorado en Marruecos, escala 1/50 000^e : 5 feuilles (Tetuan ; Kelti ; Xauen-Tazaot ; Jemis de Beni-Selman-Punta Pescadores ; Beni-Derkoul-Tisighen). Madrid, Inst. geol. y min. España.
137. ELIE DE BEAUMONT et l'évolution des sciences géologiques au Collège de France (Leçon d'ouverture du Cours au Collège de France). *Ann. Mines*, Paris, t. XV, 4^e livr., p. 75-107.
138. Rapport sur l'attribution du Prix Fontannes à M. P. LAMARE. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 132-134.
1940. 139. Sur le Trias de la zone des Kabylies. *C. R. Ac. Sc.*, t. 210, p. 146-148 (en coll. avec J. FLANDRIN).
140. Sur la répartition des faciès du Trias en Algérie. *Ibid.*, t. 210, p. 255-257 (en coll. avec J. FLANDRIN).
1941. 141. [Présentation d'un ouvrage de M. LUGEON et E. GAGNEBIN.] *C. R. somm. S. G. F.*, p. 126-127.
142. Sur l'Anti-Atlas. *C. R. Ac. Sc.*, t. 212, p. 556-558.
143. Sur le Haut-Atlas marocain. *Ibid.*, t. 212, p. 648-650 (*Err.* : p. 820).
144. Sur le Moyen-Atlas. *Ibid.*, t. 212, p. 708-710.
145. Les phases orogéniques du Rif, comparées à celles des chaînes atlasiques. *Ibid.*, t. 212, p. 923-925.
146. Relations entre les Atlas et le Rif. *Ibid.*, t. 212, p. 995-997.
147. Remarques sur l'hydrologie de la dorsale calcaire rifaine. *C. R. Congr. Ass. fr. Avanc. Sc.*, Liège (éd. 1941), p. 914-915.
148. Notice explicative de la feuille d'Ornans au 80 000^e. Paris, Serv. Carte géol. France.
1942. 149. Carte géologique de France au 80 000^e : feuille d'Ornans (n° 127), 2^e éd. Paris, Serv. Carte géol. France (en coll. avec A. ROBAUX). [Présentation : *C. R. somm. S. G. F.*, 1944, p. 166-167.]
150. Au sujet de la genèse des plis du Bassin de Paris. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 20-21.
151. [Présentation d'un ouvrage de M. LUGEON]. *Ibid.*, p. 28.
152. [Présentation d'un ouvrage de P. DESPUJOLS]. *Ibid.*, p. 47-48.
153. [Présentation d'ouvrages de L. CALEMBERT sur l'Algérie]. *Ibid.*, p. 54-55.
154. Remarques au sujet du Trias des Kabylies. *Ibid.*, p. 185-186.
155. Observations sur le Trias d'Algérie. *B. S. G. F.*, (5), XII, p. 57-71, 3 fig.
1943. 156. Feuilles de Puget-Théniers et Saint-Étienne-de-Tinée au 1/50 000^e. *Bull. Serv. Carte géol. France*, C. R. Coll. Camp. 1942, t. XLIV, n° 212, p. 235-240.
157. L'Urgonien de la Sierra Mariola (province d'Alicante). *C. R. Ac. Sc.*, t. 216, p. 71-72.
158. [Présentation d'un ouvrage du Dr R. JEANNEL]. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 73.
159. [Observations à la note de Mlle FAURE-MURET « Sur le Crétacé inférieur de la Serre de l'Ar-dret et du Massif du Mounier »]. *Ibid.*, p. 195.
160. Jean-Pierre-Victor LACOSTE (Notice nécrologique). *B. S. G. F.*, (5), XIII, p. 207-218, 1 portr.
161. El sistema cretácico en las Cordilleras béticas. *Mem. Inst. Lucas Mallada*, C. S. I. C., Madrid, 110 p., 24 fig., 2 tabl. [Présentation : *C. R. somm. S. G. F.*, 1944, p. 87-88.]
162. Sur les plis de couverture. [*C. R. Ac. Sc.*, t. 217, p. 700-701.]
1944. 163. Sur le rôle des ablations basales dans la nappe subbétique. *Ibid.*, t. 218, p. 240-241.
164. Observations sur la tectonique de la zone subbétique dans la province de Murcie. *B. S. G. F.*, (5), XIV, p. 11-28, 12 fig.
165. Tectonique hercynienne et tectonique alpine. *Ibid.*, (5), XIV, p. 99-102.
166. Sur la répartition des Pachyodontes urgoniens dans le Sud de l'Espagne. *C. R. somm. Soc. Biogéogr.*, Paris, p. 9-11, 1 fig.
167. Les phases orogéniques dans le tronçon murcien des Cordillères bétiques. *C. R. Ac. Sc.*, t. 219, p. 315-316.

168. Les phases orogéniques dans l'ensemble des Cordillères bétiques. *Ibid.*, t. 219, p. 337-338.
1945. 169. Estudios geológicos en la zona subbética entre Alicante y el Río Guadiana Menor. *Mem. Inst. Lucas Mallada*, C. S. I. C., Madrid, 719 p., 284 fig., 11 pl. [Présentation : *C. R. somm. S. G. F.*, 1947, p. 127.]
170. Feuilles de Puget-Théniers et Saint-Étienne-de-Tinée au 1/50 000^e. *Bull. Serv. Carte géol. France*, C. R. Coll. Camp. 1942, t. XLIV (1943), n° 212 (éd. 1945), p. 235-240.
171. Allocution présidentielle. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 7-10.
172. [Observations à la note de M. BONTE « Les horizons du Callovien dans les environs de Besançon ».] *Ibid.*, p. 19.
173. [Présentation d'ouvrages de M. LUGEON et N. OULIANOFF.] *Ibid.*, p. 19-20.
174. Rapport sur l'attribution du Prix Fontannes à M. G. LUCAS. *Ibid.*, p. 142-146.
175. Le problème de Minorque. *C. R. Ac. Sc.*, t. 220, p. 563-565.
176. Le problème de Gibraltar. *Ibid.*, t. 220, p. 611-613, 1 fig.
177. Titres et travaux scientifiques (Notice). Laval, Impr. Barnéoud, 39 p.
178. Résumé des leçons données en 1941-1942 dans la chaire de Géologie méditerranéenne du Collège de France (Le Trias et l'Infra-Lias de l'Europe méridionale et de l'Afrique du Nord). *Ann. Collège France*, Paris, 42^e année, p. 51-54.
179. Résumé des leçons données en 1942-1943 dans la chaire de Géologie méditerranéenne du Collège de France (Étude stratigraphique des Cordillères bétiques. Considérations sur la tectonique : I.). *Ibid.*, 43^e ann., p. 47-54.
180. Résumé des leçons données en 1943-1944 dans la chaire de Géologie méditerranéenne du Collège de France (Les terrains crétacés des Cordillères bétiques et du Bassin de la Méditerranée occidentale. Considérations sur la tectonique : II. Plissements et nappes de charriage). *Ibid.*, 44^e année, p. 49-56.
181. Résumé des leçons données en 1944-1945 dans la chaire de Géologie méditerranéenne du Collège de France (Le Nummulitique et le Néogène de la Méditerranée occidentale. Considérations sur la tectonique : III. Mécanisme des phénomènes de charriage ; les virgations). *Ibid.*, 45^e ann., p. 54-66.
1946. 182. [Observations à une note de M. GIGNOUX « Remarques sur la répartition des faciès du Trias en Algérie »]. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 71-72.
183. La géologie de la région d'Auron (Alpes-Maritimes). *C. R. Ac. Sc.*, t. 222, p. 191-192 (en coll. avec A. FAURE-MURET et B. GÈZE).
184. Allocution présidentielle (« La misère des géologues de France »). *C. R. somm. S. G. F.*, 1946, p. 5-7.
185. [Présentation de travaux de M. G. CHOURBERT.] *Ibid.*, p. 148-149.
186. [Présentation de travaux de M. M. BLUMENTHAL sur la Turquie.] *Ibid.*, p. 149-151.
187. Observations géologiques sur la région d'Auron (Alpes-Maritimes). *B. S. G. F.*, (5), 1946, t. XVI, p. 121-132, 2 fig. (en coll. avec A. FAURE-MURET et B. GÈZE).
188. Allocution prononcée à la Séance générale annuelle de la Société géologique de France. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 182-187.
189. Consideraciones sobre las Virgaciones (Conférence donnée en 1945 à la Real Academia de Ciencias de Madrid). *Bol. real Ac. Cienc.*
190. Las últimas teorías orogénicas (Conférence donnée le 15 oct. 1945 à l'Instituto geológico y minero de España). *Notas y Com. Inst. geol. y min. España*, n° 17, 47 p., 8 fig.
191. Sur la géologie du haut Rio Bodurria (prov. de Grenade). *C. R. Ac. Sc.*, t. 222, p. 1118-1119 (en coll. avec L. SOLÉ).
192. Sur le Trias de la Sierra de Baza (prov. de Grenade). *Ibid.*, t. 222, p. 1184-1185 (en coll. avec L. SOLÉ).
193. Observations sur la tectonique de la Sierra de Baza (prov. de Grenade). *Ibid.*, t. 222, p. 1405-1406 (en coll. avec L. SOLÉ).
194. Sur les rapports des séries triasiques de la Sierra de Baza (prov. de Grenade) avec la série métamorphique de la Sierra Nevada. *Ibid.*, t. 222, p. 1448-1450 (en coll. avec L. SOLÉ).
195. Résumé des leçons données en 1945-1946 dans la chaire de Géologie méditerranéenne du Collège de France (Néogène du pourtour de la Méditerranée occidentale. Considérations sur la tectonique : IV. La tectonique par gravité ou « d'écoulement »). *Ann. Collège France*, 46^e ann., p. 60-71.
196. Le Crétacé entre le Mont-Mounier et la Cime de Pal (Alpes-Maritimes). *C. R. Ac. Sc.*, t. 223, p. 954-956 (en coll. avec A. FAURE-MURET).
197. Feuille de Saint-Étienne-de-Tinée au 50 000^e : Abords de Saint-Étienne-de-Tinée. Les terrains post-permiens. *Bull. Serv. Carte géol. France*, C. R. Coll. Camp. 1944 et 1945, t. XLVI (1945-1946), n° 221 (éd. 1947), p. 209-213 (en coll. avec A. FAURE-MURET).
198. Feuille Biaufond-Les Bois-La Ferrière-Saint-Imier (n° 15), Atlas géol. Suisse au 25 000^e (pour la partie française) (en coll. avec Ph. BOURQUIN et H. SUTER). Berne, Comm. géol. Suisse. [Présentation : *C. R. somm. S. G. F.*, 1947, p. 147-148.]
1947. 199. Rapports du Nummulitique avec son substratum dans la région de Saint-Étienne-de-Tinée (A.-M.). *C. R. Ac. Sc.*, t. 224, p. 55-57 (en coll. avec A. FAURE-MURET). (*Err.* : p. 507.)
200. Sur le Nummulitique de l'Ouest de Saint-Étienne-de-Tinée (A.-M.). *Ibid.*, t. 224, p. 131-133 (en coll. avec A. FAURE-MURET).
201. [Observations à la note de R. PERRIN et M. ROUBAULT « A propos de la communication de M. LUGEON : A propos du prétendu métamorphisme du Trias alpin ».] *C. R. somm. S. G. F.*, p. 16.
202. Rapport sur l'attribution du Prix Fontannes à M. R. CIRY. *Ibid.*, p. 205-208.
203. Résumé des leçons données en 1946-1947 dans la chaire de Géologie méditerranéenne du Collège de France (Tectonique des Alpes : les massifs de l'Aar-Gothard et du Mont Blanc). *Ann. Collège France*, 47^e ann., p. 66-73.
204. The teaching of Geology in France. *Mines Magazine*, Golden, n° 8-9 : Aug., p. 12-16, 32 et 37-38 ; sept., p. 17-18, 25-27, 39 et 42-43.
1948. 205. Les Cordillères bétiques. *Est. geol.*, Madrid et Barcelone, n° 8, p. 83-172, 12 fig., 4 pl.
206. [Annonce du décès de A. DU TOIT. Courte notice.] *C. R. somm. S. G. F.*, p. 133.
207. Observations sur les failles du Pissoux (Jura franc-comtois). *B. S. G. F.*, (5), XVIII, p. 575-581, 1 fig. (en coll. avec M. NICKLÈS).
208. Résumé des leçons données en 1947-1948 dans la chaire de Géologie méditerranéenne du Collège de France (Prolongement des Nappes Pennines vers l'Est et Nappes des Grisons). *Ann. Collège France*, 48^e ann., p. 67-71.

1949. 209. Sur la géologie de l'Ouest du Mounier (Alpes-Maritimes). *C. R. Ac. Sc.*, t. 228, p. 523-525 (en coll. avec A. FAURE-MURET).
210. Sur l'extension du décollement de la série de couverture subalpine. *Ibid.*, t. 228, p. 616-619 (en coll. avec A. FAURE-MURET).
211. Sur un mode particulier de charriage. *Ibid.*, t. 228, p. 789-792 (en coll. avec A. FAURE-MURET).
212. [Au sujet de l'Association Paul FALLOT.] *C. R. somm. S. G. F.*, p. 85-86.
213. [Observations à la note de A. FAURE-MURET « Les rock-streams ou pseudo-moraines du massif de l'Argentera-Mercantour ».] *Ibid.*, p. 120.
214. Les progrès de la géologie en Espagne depuis cent ans (Discours prononcé le 7 avril 1949 au Centenaire de la Real Academia de Ciencias de Madrid). Madrid, 43 p.
215. Les chevauchements intercutanés de Roya (A.-M.). *Ann. Hébert-Haug*, Paris, t. VII (Livre jubilé. Ch. JACOB), p. 161-169, 2 pl.
- 215 bis. Allocution prononcée à l'occasion du Jubilé scientifique de Charles JACOB, le 20 déc. 1949, p. 37-42. Paris, Impr. Letouzey et Ané (1950).
216. Résumé des leçons données en 1948-1949 dans la chaire de Géologie méditerranéenne du Collège de France (Les Hohe Tauern). *Ann. Collège France*, 49^e ann., p. 69-75.
217. Feuilles de Saint-Étienne-de-Tinée et Saint-Martin-Vésubie au 50 000^e. Observations sur le Nummulitique des abords SW de Saint-Étienne-de-Tinée et du Nord du Tournaret. *Bull. Serv. Carte géol. France*, C. R. Coll. Camp. 1948, t. XLVII, n° 226 (éd. 1950), p. 119-131 (en coll. avec A. FAURE-MURET).
1950. 218. Phénomènes de décoiffement dans les groupes du Puez et du Sella (Dolomites du Tyrol). *C. R. somm. S. G. F.*, p. 188-190.
219. Sur le bassin néogène du Sud de la Sierra Nevada. *C. R. Ac. Sc.*, t. 230, p. 1625-1627 (en coll. avec L. SOLÉ et G. COLOM).
220. Sur le Néogène des bassins du Guadiana Menor et de Baza. *Ibid.*, t. 230, p. 1717-1720 (en coll. avec L. SOLÉ, G. COLOM et P. BIROT).
221. Sur l'âge des couches de Baza et de la Formation de Guadix (prov. de Grenade). *Ibid.*, t. 231, p. 504-507 (en coll. avec L. SOLÉ, G. COLOM et P. BIROT).
222. Formations glaciaires et dépôts aberrants des feuilles Saint-Étienne-de-Tinée et Le Boréon. *Trav. scient. Club alpin français*, Paris, t. XX, p. 1-46, 6 pl. (en coll. avec A. FAURE-MURET). [Présentation : *C. R. somm. S. G. F.*, 1951, p. 117.]
223. Remarques sur la tectonique de couverture dans les Alpes bergamasques et les Dolomites. *B. S. G. F.*, (5), XX, p. 183-195, 1 fig.
224. Résumé des leçons données en 1949-1950 dans la chaire de Géologie méditerranéenne du Collège de France (Les Alpes bergamasques et les Alpes calcaires méridionales). *Ann. Collège France*, 50^e ann., p. 74-84.
225. Les prospections de pétrole en France et en Afrique du Nord (Conférence donnée à l'Institut français de Madrid). *Bull. Inst. fr. Espagne* (juin), n° 43, p. 137-140.
1951. 226. Résumé des leçons données en 1950-1951 dans la chaire de Géologie méditerranéenne du Collège de France (Les Alpes calcaires septentrionales). *Ann. Collège France*, 51^e ann., p. 79-95.
227. Sur la partie occidentale de la zone marnoschisteuse du Rif espagnol. *VII Conv. naz. Metano e Petr.*, Taormina, 11 p., 1 pl.
1952. 228. Livret-Guide des excursions A 30 et G 30. Fasc. 1 : Oujda-Marrakech, 54 p., 10 fig. (en coll. avec B. OWODENKO et P. LÉVÊQUE). Fasc. 2 : Marrakech-Rabat, 52 p., 16 fig., 1 pl. (en coll. avec M. GIGOUT et les géologues du Service géologique du Maroc). *Publ. XIX^e Congr. géol. intern. Alger 1952*, éd. Rabat.
229. Livret-Guide des excursions A 31 et G 31 (Maroc septentrional : chaîne du Rif). Partie A : Introduction, 13 p. Partie C : Partie occidentale de la zone du Protectorat espagnol, 34 p., 15 fig., 2 pl. (en coll. avec A. MARIN). *Ibid.*
230. Résumé des leçons données en 1951-1952 dans la chaire de Géologie méditerranéenne du Collège de France (La zone du Flysch et les Nappes des Alpes calcaires septentrionales). *Ann. Collège France*, 52^e ann., p. 86-93.
1953. 231. Rapport sur l'attribution du Prix Léon-Bertrand à M. Raymond LÉVY. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 180-183.
232. Du rôle des décollements en tectonique. *Scientia* (juin), 6^e sér., 47^e ann., 6 p.
233. [Observations à la note de R. LAVOCAT « Sur diverses découvertes récentes de gisements de Vertébrés africains et leurs conséquences géologiques ».] *C. R. somm. S. G. F.*, 1953, p. 286.
234. [Au sujet de l'Association Paul FALLOT.] *Ibid.*, p. 301-302.
235. [Observations à la note de P. MICHEL et *alt.* « Le contact Jura-Bresse dans la région de Lons-lès-Saunier ».] *B. S. G. F.*, (6), III, p. 610.
236. [Observations à la note de A. CAIRE et *alt.* « Essai de coordination de l'autochtone et de l'allochthone dans l'Atlas tellien de l'Algérie centrale. »] *Ibid.*, (6), III, p. 972.
237. Résumé des leçons données en 1952-1953 dans la chaire de Géologie méditerranéenne du Collège de France (La répartition des faciès dans les Alpes orientales). *Ann. Collège France*, 53^e ann., p. 76-89.
238. [Observations à la note de M. DURAND DELGA « Découverte de Trias à faciès tellien, en position probablement diapire, au NE d'Ain-Kechera, au centre du massif ancien de Petite Kabylie. »] *C. R. somm. S. G. F.*, p. 14.
239. Les formations gréseuses du cap Spartel. *Notes Serv. géol. Maroc*, t. VII. *Notes et Mém.* n° 117, p. 73-87, 6 fig. (en coll. avec M. REY).
1954. 240. Observations nouvelles sur le Nummulitique des abords du massif de l'Argentera-Mercantour. *C. R. Ac. Sc.*, t. 238, p. 421-423 (en coll. avec A. FAURE-MURET et R. ABRARD).
241. Carte géologique au 50 000^e de Saint-Étienne-de-Tinée (n° XXXVI-40). Paris, Serv. Carte géol. France (en coll. avec A. FAURE-MURET et P. BORDET). [Présentation : *C. R. somm. S. G. F.*, 1956, p. 39.]
242. Notice explicative de la feuille au 50 000^e de Saint-Étienne-de-Tinée. Paris, Serv. Carte géol. France (en coll. avec A. FAURE-MURET).
243. Observations sur le Trias tétic et ses Algues calcaires. *Mem. y Com. Inst. geol. prov.*, Barcelone, t. XI, p. 23-60, 11 fig., 5 pl. (en coll. avec M. LEMOINE et L. SOLÉ). Introduction géologique (en coll. avec L. SOLÉ).
244. Comparaison entre Cordillères bétiques et Alpes orientales (tomo extraordinario 80^e aniv. Prof. Ed. HERNANDEZ PACHECO). Madrid, *Real Soc. esp. Hist. nat.*, p. 259-279, 2 pl.
245. La formation à *Microcodium* au pourtour de l'Argentera-Mercantour. *B. S. G. F.*, (6), IV, p. 111-138, 9 fig. (en coll. avec A. FAURE-MURET).

246. Maurice LUGEON (1870-1953) (Notice nécrologique). *Ibid.*, IV, p. 303-340, 1 portr.
247. Préface au dernier volume des « Études américaines » (t. II) de Em. de Margerie, p. v-vi. Paris, A. Colin éd.
248. Résumé des leçons données en 1953-1954 dans la chaire de Géologie méditerranéenne du Collège de France (Alpes orientales). *Ann. Collège France*, 54^e ann., p. 87-103.
- 248 bis. Le colonel Charles GÉRARD (1866-1953) (Notice nécrologique). *Notes Serv. géol. Maroc*, t. X (*Notes et Mém.*, n° 122), p. 7-8.
249. Partie occidentale de la zone du Protectorat espagnol. In *Compte rendu des excursions au Maroc. Publ. XIX^e Congr. géol. intern. Alger 1952*, sér. Maroc, éd. Rabat, n° 16, p. 18-21.
250. Sur le Secondaire et le Tertiaire aux abords sud-orientaux du Massif de l'Argentera-Mercantour (Feuilles de Saint-Martin-Vésubie, Tende et Viève au 50 000^e). *Bull. Serv. Carte géol. France*, C. R. Coll. Camp. 1953, t. LII, n° 241 (éd. 1955), p. 283-319, 17 fig., 2 pl. (en coll. avec A. FAURE-MURET).
251. Memorial to Maurice LUGEON (1870-1953). *Proc. vol. géol. Soc. America (Ann. Rep.)* (éd. 1955), p. 123-132, 1 portr.
1955. 252. Le dilemme des Alpes orientales (1^{re} conférence Dewalque de la Société géologique de Belgique, 1954). *Bull. Soc. géol. Belgique*, t. 78, p. B 147-170, 1 fig., 2 pl.
253. Schéma structural des Alpes orientales. Paris, impr. Monsanglant.
254. [Observations à la note de R. BARBIER et R. TRÜMPY « Sur l'âge du Flysch de la zone des brèches de Tarentaise. »] *B. S. G. F.*, (6), V, p. 229-230.
255. Rapport sur l'attribution du Prix Fontannes au général M. COLLIGNON. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 197-200.
256. Résumé des leçons données en 1954-1955 dans la chaire de Géologie méditerranéenne du Collège de France (Préalpes franco-suisse). *Ann. Collège France*, 55^e ann., p. 97-110.
257. Allocution lors du 125^e anniv. de la Société géologique de France. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 371-375.
258. Précisions stratigraphiques sur la région de Guillaumes et de Valberg (feuille de Puget-Théniers au 50 000^e). *Bull. Serv. Carte géol. France*, C. R. Coll. Camp. 1954, t. LIII, n° 246, fasc. B (éd. 1956), p. 39-43, 1 fig.
259. Le col de Tende et le bassin du Rio Freddo (Feuilles du Boréon, partie E, Viève et Tende au 50 000^e). *Ibid.*, t. LII, n° 246, fasc. B (éd. 1956), p. 44-75, 13 fig. (en coll. avec M. LANTEAUME).
1956. 260. Promenade d'hypothèse en hypothèse (Gedenkboek H. A. BROUWER). Amsterdam, p. 100-114, 2 pl.
261. Articles : Algibe (Grès de l'), p. 5-6 ; Alvéolaires (Calcaires), p. 6-7 ; Gzouli (Calcaires dolomitiques noirs de l'), p. 67 ; Rhynchonellines (Couches à), p. 127-128. In *Maroc, Lexique stratigraphique international*, vol. IV (Afrique), fasc. 1 a. Paris, Centre nat. Rech. scient. et *Notes et Mém. Serv. géol. Maroc*, n° 134.
262. [Présentation de la séance sur la structure de l'Afrique du Nord]. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 286.
263. Sur les dislocations de la zone du Flysch au Nord et à l'Est de Tende. *C. R. Ac. Sc.*, t. 242, p. 30-34 (en coll. avec M. LANTEAUME).
264. Observations géologiques sur le chaînon du Monte del Chiamossero (Italie). *Ibid.*, t. 242, p. 311-314 (en coll. avec M. LANTEAUME).
265. Sur la géologie du col de Tende et de ses abords. *Ibid.*, t. 242, p. 586-590 (en coll. avec M. LANTEAUME).
266. Sur la géologie du Jabalcón (prov. de Grenade, Espagne). *Ibid.*, t. 242, p. 1930-1933 (en coll. avec L. SOLÉ).
267. Remarques sur la courbure des chaînes rifaines. In *Geotekt. Symp. Hans Stille*, p. 289-302, 2 fig. Stuttgart, F. Enke éd.
268. Sur les Flyschs des Alpes maritimes françaises et italiennes. *C. R. Ac. Sc.*, t. 243, p. 1697-1701 (en coll. avec A. FAURE-MURET, P. H. KUENEN et M. LANTEAUME).
269. Sur les accidents alpins de la bordure orientale du massif de l'Argentera-Mercantour. *Ibid.*, t. 243, p. 1813-1817 (en coll. avec A. FAURE-MURET et E. BOLELLI).
270. Présence de l'Éocène inférieur dans le Rif septentrional (Maroc). *Ibid.*, t. 243, p. 1975-1981 (en coll. avec M. DURAND DELGA et J. MAGNÉ).
271. Résumé des leçons données en 1955-1956 dans la chaire de Géologie méditerranéenne du Collège de France (Italie apennine). *Ann. Collège France*, 56^e ann., p. 96-116.
272. Memorial to Maurice GIGNOUX (1881-1955). *Proc. vol. géol. Soc. America (Ann. Rep.)* (éd. 1957), p. 127-135, 1 portr.
273. Feuilles Le Boréon (7-8) et Viève (5-6) au 50 000^e. *Bull. Serv. Carte géol. France*, C. R. Coll. Camp. 1955, t. LIV, n° 250, fasc. B (éd. 1957), p. 35-66, 13 fig. (en coll. avec M. LANTEAUME).
1957. 274. Sur les conglomérats lutétiens de la région de Tende et de la Brigue (Haute-Roya). *C. R. Ac. Sc.*, 1957, t. 244, p. 1977-1982 (en coll. avec A. FAURE-MURET et M. LANTEAUME).
275. Nouveaux documents sur le Crétacé supérieur des environs de Caravaca (prov. de Murcie, Espagne). *Ibid.*, t. 245, p. 462-465 (en coll. avec R. BUSNARDO, M. DURAND DELGA et J. SIGAL).
276. Indices de la présence du Tithonique et du Néocomien dans la Dorsale calcaire du Rif (Maroc). *Ibid.*, t. 245, p. 2441-2447 (en coll. avec M. DURAND DELGA).
277. La Tour de Babel. *Scientia* (mai), 6^e sér., 51^e ann., 5 p.
278. Datos sobre el Eoceno inferior del Rif septentrional (Marruecos). *Notas y Com. Inst. geol. y min. España*, n° 48, 13 p., 1 pl. photo (en coll. avec M. DURAND DELGA et J. MAGNÉ).
279. [Observations à la note de M. LEMOINE « Calcschistes piémontais et terrains à faciès briançonnais dans la haute vallée de l'Ubaye (Basse-Alpes) »]. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 44.
280. [Observations à la note de M. J. CUVILLIER « Tintinnoidiens nouveaux dans le Dévonien supérieur du Sahara septentrional et du Minervois »]. *Ibid.*, p. 62.
281. Observations sur les Flyschs des Alpes maritimes françaises et italiennes. *B. S. G. F.*, (6), VII, p. 11-26, 1 pl. (en coll. avec P. H. KUENEN, A. FAURE-MURET et M. LANTEAUME).
282. [Observations à la note de M. TILLOY « Le Lutétien dans le périmètre de recherche de la Société Petrórep »]. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 348.
283. [Observations à la note de M. G. COLOM « Sur les caractères de la sédimentation des géosynclinaux mésozoïques »]. *B. S. G. F.*, (6), VII, p. 1186.
284. Observaciones geológicas sobre el Jabalcón (prov. de Granada). *Mem. y Com. Inst. geol. prov.*, Barcelone, t. 16, p. 7-18 (en coll. avec L. SOLÉ).

285. Résumé des leçons données en 1956-1957 dans la chaire de Géologie méditerranéenne du Collège de France (Rapports Alpes-Apennins). *Ann. Collège France*, 57^e ann., p. 113-137.
286. Feuilles Le Boréon, Viève, Saint-Martin-Vésubie et Tende au 50 000^e. Liaisons tectoniques et stratigraphiques. *Bull. Serv. Carte géol. France*, C. R. Coll. Camp. 1956, t. LV, n° 252, fasc. B, p. 39-48, 4 fig. (en coll. avec A. FAURE-MURET).
1958. 287. Le contact frontal du Subbétique entre le massif du Revocadores et la Sierra Sagra (provinces de Grenade et de Murcie, Espagne). *C. R. Ac. Sc.*, t. 246, p. 2320-2325 (en coll. avec M. DURAND DELGA et R. BUSNARDO).
288. Observations stratigraphiques sur le Nummulitique des Cordillères bétiques (Espagne méridionale). *Ibid.*, t. 247, p. 9-15 (en coll. avec R. BUSNARDO, M. DURAND DELGA et J. MAGNÉ).
289. Sur l'âge des calcaires à Helminthoïdes (Alberese) de la région génoise. *Ibid.*, t. 247, p. 1533-1537 (en coll. avec M. LANTEAUME et S. CONTI).
290. Annonce de la découverte d'un important indice de pétrole par Petrorep à Coulommès (S.-et-M.). *C. R. somm. S. G. F.*, p. 64.
291. [Présentation de l'ouvrage « La Terra » de L. TREVISAN et E. TONGIORGI]. *Ibid.*, p. 385.
292. Données nouvelles sur le Tithonique, le Crétacé et l'Éocène inférieur de la zone marno-schisteuse du Rif septentrional (Maroc). *Notes Serv. géol. Maroc*, t. 16 (*Notes et Mém.*, n° 143), p. 35-58, 1 pl. (en coll. avec M. BLUMENTHAL et M. DURAND DELGA).
293. Résumé des leçons données en 1957-1958 dans la chaire de Géologie méditerranéenne du Collège de France (Corse, Plaine du Pô). *Ann. Collège France*, 58^e ann., p. 107-135.
1959. 294. [Présentation de la Carte géologique au 500 000^e du Maroc]. *C. R. Ac. Sc.*, t. 248, p. 1745-1747.
295. La géologie profonde du Bassin du Pô et le mystère de celui du Guadalquivir. *Est. geol.*, Madrid, C. S. I. C., vol. XV (tomo hom. D. Max. SAN MIGUEL DE LA CÁMARA), p. 155-162, 1 pl. h.-t.
296. Rapport sur l'attribution du Prix Gaudry à M. C. ARAMBOURG. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 120-121.
297. Sur les formations crétacées et tertiaires du Rio Fardes aux abords du Mencal (prov. de Grenade, Andalousie). *C. R. Ac. Sc.*, t. 248, p. 2686-2691 (en coll. avec J. MAGNÉ et J. SIGAL).
298. Remarques sur la série du Rio Fardes. *Ibid.*, t. 248, p. 2833-2836 (en coll. avec J. MAGNÉ et J. SIGAL).
299. Sur la « fenêtre » de Castelvecchio (Alpes maritimes italiennes). *Ibid.*, t. 248, p. 3083-3087 (en coll. avec J.-P. BLOCH et M. LANTEAUME).
300. Profil géologique à travers le massif du Veleto (Sierra Nevada, Andalousie). *Ibid.*, t. 248, p. 3247-3252 (en coll. avec A. FAURE-MURET, L. SOLÉ et J. M. FONTBOTÉ).
301. Sur la constitution géologique de la partie orientale du massif de la Sierra Nevada (Andalousie). *Ibid.*, t. 248, p. 3375-3378 (en coll. avec A. FAURE-MURET, L. SOLÉ et J. M. FONTBOTÉ).
302. Le Bétique de la partie occidentale de la Sierra de Filabres (Andalousie, Espagne). *Ibid.*, t. 248, p. 3655-3659 (en coll. avec A. FAURE-MURET, L. SOLÉ et J. M. FONTBOTÉ).
303. Sur la géologie de l'extrémité orientale de la Sierra de Filabres et sur l'individualité de la série de la Sierra Nevada. *Ibid.*, t. 249, p. 9-13 (en coll. avec A. FAURE-MURET, L. SOLÉ et J. M. FONTBOTÉ).
304. Résumé des leçons données en 1958-1959 dans la chaire de Géologie méditerranéenne du Collège de France (Italie et Sicile). *Ann. Collège France*, 59^e ann., p. 133-168.
305. [Observations à la note de M. DURAND DELGA et M. MATTAUER « Existence, dans le Rif (Maroc), d'une nappe supérieure à matériel numidien »]. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 226-227.
1960. 306. [Observations à la note de M. DURAND DELGA et M. MATTAUER « Sur l'origine ultra-rifaine de certaines nappes du Rif septentrional »]. *Ibid.*, p. 23-24.
307. [Présentation du « Tomo extraordinario publicado en homenaje al Ex^{mo} Sr. D. Maximino SAN MIGUEL DE LA CÁMARA »]. *Ibid.*, p. 45.
308. [Présentation de la Carte géologique du Mont-Blanc, par P. CORBIN et N. OULIANOFF]. *C. R. Ac. Sc.*, t. 250, p. 245-246.
309. Sur la constitution et la signification de la roche appelée « Konglomeratise Mergel » dans la zone bétique (Andalousie, Espagne). *Ibid.*, t. 250, p. 1403-1408 (en coll. avec S. DUPLAIX).
310. Les « konglomeratise Mergel » des Cordillères bétiques. *B. S. G. F.*, (7), t. II, p. 308-317, 3 fig., 2 tabl. (en coll. avec S. DUPLAIX).
311. Observaciones geológicas sobre el macizo del Mencal y sus alrededores (Granada). *Notas y Com. Inst. geol. y min. España*, n° 60, p. 3-72, 15 fig. (en coll. avec A. FAURE-MURET et J. M. FONTBOTÉ).
312. Le problème de l'espace en tectonique (Festschrift 70. Geb. Ernst KRAUS). *Abd. deutsch. Ak. Wiss. Berlin*, Kl. III, H. 1, p. 48-58.
313. Résumé des leçons données en 1959-1960 dans la chaire de Géologie méditerranéenne du Collège de France (Dernier coup d'œil sur la Méditerranée occidentale). *Ann. Collège France*, 60^e ann., p. 93-110.
314. Orientaciones actuales de las Ciencias geológicas (Conférence prononcée le 8 avril 1960). *Mem. real Ac. Cienc. y Artes*, Barcelone.

ŒUVRES POSTHUMES.

315. Estudios sobre la serie de la Sierra Nevada y de la llamada Mischungszone. *Bol. Inst. geol. y min. España*, t. 71, 1960, p. 349-557, 71 fig., 4 pl. (en coll. avec A. FAURE-MURET, J. M. FONTBOTÉ et L. SOLÉ).
316. Hoja de Guadix (1011), de la carte géologique d'Espagne au 50 000^e (sous presse) (en coll. avec J. M. FONTBOTÉ et L. SOLÉ).
317. Hoja de Guadix (1011). Notice explicative, 88 p. dact., 18 fig., 1 pl. (sous presse) (en coll. avec A. FAURE-MURET, J. M. FONTBOTÉ, L. SOLÉ et E. DUPUY DE LÔME).
318. Investigations sur la partie occidentale de la formation de Guadix. *Notas y Com. Inst. geol. y min. España* (en préparation) (en coll. avec A. FAURE-MURET et J. M. FONTBOTÉ).
319. Feuille géologique au 50 000^e Saint-Martin-Vésubie-Le Boréon (n° XXXVII-40 et XXXVII-41) avec notice explicative. Paris, Serv. Carte géol. France (à paraître) (en coll. avec A. FAURE-MURET, P. KUNTZ, G. SUTER et M. LANTEAUME).
320. Feuille géologique au 50 000^e « Puget-Théniers » (n° XXXVI-41), avec notice explicative. Paris, Serv. Carte géol. France (en coll. avec P. BORDET, A. FAURE-MURET, J. GOGUEL (à paraître)).
321. Feuille géologique au 50 000^e « Viève-Tende » (n° XXXVIII-40 et 41), avec notice explicative. Paris, Serv. Carte géol. France (en coll. avec A. FAURE-MURET et M. LANTEAUME) (à paraître).



Eugène Surtet

1868-1925

La vie et l'œuvre de Louis GENTIL

(1868-1925)

par Jacques BOURCART *.

Il est d'usage dans notre Société que, quand disparaît un de ses membres dont l'œuvre a marqué dans notre science, une notice détaillée soit publiée sur sa vie et son œuvre. Tel n'a pas été le cas pour Louis Gentil quand il a prématurément disparu en 1925. Il en avait été d'ailleurs de même dans toutes les revues scientifiques françaises. La raison doit peut-être en être cherchée dans la passion avec laquelle il avait défendu ses idées sur la tectonique de l'Afrique du Nord. L'hypothèse de la structure en nappes des grandes chaînes alpines, qui avait triomphé à la suite notamment des travaux de Marcel Bertrand, Maurice Lugeon, Émile Haug et Pierre Termier, avait été étendue à toutes les autres chaînes de montagnes. Fait général en géologie, une belle théorie a tendance à devenir une mode et, quand elle se montre abusive, le recul est d'autant plus rapide qu'avait été plus vif l'élan donné auparavant. Comme les recherches de pétrole au Maroc avaient été l'occasion de nouveaux levés et de découvertes stratigraphiques qui ne cadraient pas toujours avec la structure envisagée, il a été plus facile alors de démolir tout l'édifice ancien que de l'améliorer. Telle est peut-être l'origine du désaveu qu'ont subi les travaux de l'explorateur du Rif et du Tell oranais.

Au moment où disparaît Gentil, nous sommes aussi en pleine guerre rifaine. Comme après tout échec, l'opinion métropolitaine se détourne de son élan colonial, effrayée par les conséquences possibles d'un échec même momentané. Aujourd'hui, où la disparition du Protectorat marocain s'est produite dans la même atmosphère de défiance des aventures, le nom de Louis Gentil vient d'être effacé de la ville et des rues qui, croyait-on, perpétueraient son souvenir. Néanmoins, son rayonnement a été tel que, ni en France, ni au Maroc, on n'oubliera de longtemps son nom. Aussi le Conseil de notre Société m'a demandé de réparer cette omission dans ses publications, à moi qui ai souvent suivi ses traces et lui ai

deux fois succédé. J'aurai toutefois quelque peine à le faire. Gentil a, en effet, très peu parlé de sa jeunesse et, dans les deux notices qu'il a publiées en 1918 et 1922 sur sa vie et son œuvre [196, 229]¹, il s'est montré très sobre de détails. Grâce aux travaux en Algérie de Louis Glangaud et de ses élèves et de l'équipe qu'a formée Paul Fallot, bien des idées de Gentil sont redevenues aujourd'hui vivantes. Notre confrère, Michel Durand Delga, pourra plus que tout autre en témoigner. Malgré ces difficultés, j'ai accepté de tenter de retracer ce qui a été la vie et l'œuvre de mon maître.

Louis Gentil est né à Alger, le 15 juillet 1868, d'un père ardéchois, qui était cuisinier de l'amiral d'Algérie, et d'une mère alsacienne. Cette double ascendance explique peut-être son caractère vif, enthousiaste et obstiné. Bien que les ressources de sa famille fussent très modestes, celle-ci put néanmoins lui faire faire de longues études, à lui et à son frère avec lequel il est toujours resté très lié et qui put entrer à l'École des Beaux-Arts et devenir architecte céramiste.

Brun et mince, Gentil avait un type physique qui se rapprochait de celui des montagnards berbères et possédait la résistance extraordinaire de cette race. Il attribuait volontiers cette particularité, comme d'ailleurs son nom, à la descendance de Maures qui se seraient arrêtés et fixés dans les Pyrénées, au retour de Poitiers. Ses études au lycée d'Alger lui avaient, en outre, donné une excellente connaissance de l'arabe et du caractère des populations de l'Afrique du Nord et, plus généralement, de l'Islam.

Attiré, dès sa jeunesse, par les sciences naturelles, notamment par la botanique — ses premières fonctions universitaires ont été d'être préparateur à la chaire de Botanique de l'Uni-

* Notice lue à la séance du 5 juin 1961.

1. Les numéros entre crochets renvoient à la liste des publications en fin de notice.

versité d'Alger — pour des raisons d'opportunité, il se dirigea vite vers la chimie. Ses premiers travaux, en 1894 et 1895, en collaboration avec son ami H. Malbot, roulent sur la chimie organique. Mais l'influence d'un très grand savant va rapidement être décisive sur l'orientation de sa carrière : celle de Jacques Curie, frère et souvent collaborateur de Pierre Curie. Jacques Curie l'orienta vers l'étude, à peine ébauchée, de la minéralogie de l'Algérie. Afin de compléter sa formation scientifique, il le fait attacher en 1894 au laboratoire de Fouqué au Collège de France. Il y fait la connaissance et se lie aussitôt intimement avec Alfred Lacroix. Ce sont ces deux maîtres qui influent sur le début de sa carrière scientifique.

Sur la suggestion de Fouqué, il abordera aussitôt l'étude des volcans à peu près inconnus qui se trouvent entre Oran et la frontière marocaine. Tous ses travaux ultérieurs seront la suite logique de cette première impulsion. Pouyanne, directeur du Service géologique de l'Algérie, lui attribue la feuille de Miliana qu'il avait commencé à lever, et il poussera toujours ses travaux plus à l'Ouest. Il complète d'abord l'étude du bassin presque frontière de la vallée de la Tafna, qui lui servira de sujet de thèse. C'est de là qu'apercevant tous les jours la zone interdite d'Oujda, il rêve d'explorer le Maghreb inconnu :

« L'étude des matériaux rapportés par des explorateurs africains, notamment par la célèbre mission Foureau-Lamy, ravivait mon désir d'entreprendre des recherches dans quelques régions inconnues de l'Afrique... » [229, p. 26]. « La connaissance que j'avais de l'Algérie, de sa population et de la langue arabe, tout l'ensemble de mes travaux ne pouvaient que me pousser vers l'exploration du Maroc, qui exerçait sur mon esprit un irrésistible attrait. J'étais bien décidé à parcourir ce pays mystérieux, dont j'avais, du haut de l'Observatoire du Filhaouen..., entrevu dans le lointain la plaine et les montagnes.

Sans le Maroc, la tentative de créer dans l'Afrique du Nord, par la collaboration de notre civilisation et des éléments arabo-berbères, un merveilleux champ d'action pour les jeunes énergies françaises, risquait d'être éphémère et dangereuse... C'est à peine si le Père de Foucauld avait soulevé un coin du voile, rapportant de son célèbre voyage beaucoup trop pour nous laisser indifférents, trop peu pour nous satisfaire.

Ainsi, sans attendre la pénétration française que le développement de notre politique laissait entrevoir, je me suis lancé à travers le Maghreb, résolu à travailler de toutes mes forces à la connaissance scientifique du pays et à y commencer l'œuvre de conquête pacifique que la France serait amenée à y entreprendre. »

Cette première occasion a été assez étrange : Eugène Étienne et le Comité du Maroc avaient confié une mission au Sud de l'Atlas au capitaine de Segonzac, dans le but de refaire à cet officier une virginité compromise dans un drame mys-

térieux². L'idée de servir sous Segonzac, à première vue, ne tentait pas beaucoup Gentil, mais on lui avait spécifié que sa zone d'action serait tout à fait différente de celle de son chef de mission. Malgré quelques réticences, il accepta donc et partit pour Tanger en 1904. Comme il souhaitait de pénétrer dans le Maroc totalement inconnu, dans le Bled es Siba : le pays de l'insoumission au Sultan, le seul moyen était d'adopter d'emblée le costume indigène. C'est pourquoi, dès son arrivée à Tanger, il joue le rôle de domestique de Buchet, explorateur de l'Andjera (la fig. 164, p. 702 *bis* des « Résultats scientifiques de la Mission au Maroc 1904-1905 : Au cœur de l'Atlas », par le marquis de Segonzac, le montre dans ce costume à côté de Buchet). Quand il atteindra le Sud marocain, il passera facilement pour un religieux égyptien. Son Coran, dans sa reliure, contiendra une boussole et un baromètre. De Tanger, il visite Tétouan et le Rif occidental (Jbala) ; puis il traverse le Maroc du Nord au Sud, atteignant le Haut-Atlas, qu'il parcourra six fois sur 300 km, rapportant notamment la première carte d'itinéraires de cette grande chaîne, du col de Telouet au cap Rhir où elle touche l'Atlantique. Les découvertes stratigraphiques, au cours de ce voyage, sont très importantes : noyau central primaire, avec schistes à Graptolithes, Dévonien gréseux témoignant d'une orogénèse calédonienne, Carbonifère marin, puis continental, discordance hercynienne, Permien détritique, Trias rouge et gypseux. L'extrémité occidentale, au contraire, à laquelle, dans la suite, notre confrère Edouard Roch consacrera une belle thèse, a une structure géosynclinale avec, sur le Trias, un Jurassique et un Crétacé inférieur profonds qu'il compare à ceux des Alpes occidentales, notamment de la Drôme. L'horizon de Clansaye même y est remarquablement représenté.

Cette exploration permettra à Gentil de dresser une carte topographique de l'Atlas occidental et une première ébauche géologique de cette chaîne, avec une partie mésozoïque à l'E du col de Telouet, un massif central essentiellement primaire ou plus ancien et une partie occidentale qui constitue, comme l'a appelée dans la suite Edouard Roch, la « fosse des Hahas ».

Mais l'étude de la chaîne culminante du Maroc ne suffit pas à combler les désirs de Gentil. Il était attiré par ce pays à peu près inconnu qui est plus au Sud, au-delà de la vallée du Sous : la chaîne de l'Anti-Atlas, déjà saharienne. Au passage, il explore en détail le grand volcan

2. C'est le thème initial de « L'Atlantide » de Pierre Benoît.

tertiaire du Siroua, aussi grand que l'Etna, entre les deux chaînes. Se souvenant qu'il était pétrographe à l'origine, il entreprend l'étude monographique des laves toujours alcalines de ce volcan, qu'il compare aux matériaux, jadis étudiés par lui, qu'avait rapportés du Sahara F. Foureau.

La vallée du Sous le tient longuement, avec ses curieuses forêts d'Arganiers et ses étranges Euphorbes cactoides. Il entrevoit l'importance d'Agadir comme port du Sud marocain ou même comme port d'escale en direction de l'Afrique. Mais il s'y heurte aux intrigues des frères Mannesmann, qui préparent l'acquisition par l'Allemagne de toutes les mines du Maroc. C'est grâce aux amitiés qu'il s'était faites dans la tribu « siba » des Ida ou Tanant qu'il se tire d'une position difficile. Il en a gardé une reconnaissance et une affection toute particulière pour la population active, intelligente, mais aussi très hospitalière, des Berbères de l'Atlas, et une grande confiance dans sa possibilité d'évolution, même technique. Toutes ces idées sont exprimées dans un grand volume, où ses souvenirs de mission se mêlent à ses découvertes géographiques : « Dans le Bled es Siba » [56]. Les montagnards ne l'ont du reste pas oublié : parcourant dans la suite ces régions, j'ai retrouvé encore vivant le souvenir de Si Allal, son nom sous le costume musulman.

Cette affection que Gentil portait aux montagnards berbères et à leur beauté est le principal motif pour lequel il a consacré une si grande partie de sa vie à ce pays. Certes, le désir d'être le premier à décrire une terre inconnue, à définir sa structure et, par là, probablement celle de toute une partie de l'Afrique a contribué pour beaucoup à lui faire supporter les difficultés et les fatigues inhérentes à toute exploration. Il en a été de même pour ses émules et ses élèves, mais ce n'est certainement pas par cet esprit que l'on appelle aujourd'hui colonialiste. L'Afrique du Nord était évidemment pour nous, après les cruels revers de 1870, une terre où nous pouvions reprendre espoir d'un renouveau des énergies françaises et, un peu plus tard, d'une victoire réparatrice : le serment de Koufra était déjà implicite. Mais aider une population aussi sympathique à mieux vivre était certainement un des ressorts de l'activité de Gentil, qu'il a d'ailleurs transmis à ses élèves. Cela explique l'ardeur avec laquelle il a étudié des problèmes vitaux dans ce pays : la découverte de nouveaux points d'eau et la mise en réserve de cette précieuse matière par de grands barrages ; la part aussi qu'il a consacrée à la recherche et à l'amélioration des terres fertiles du Maroc. Malgré la découverte de

tant de richesses possibles au Maroc, il n'a jamais voulu y acquérir le plus petit lopin de terre. Peut-être que ce pays, dans sa hâte de devenir rapidement majeur, veut oublier toute l'histoire qui a précédé ; mais si, par exemple, il disparaît du bassin phosphaté qu'il a tant travaillé à mettre en valeur et aussi, il faut bien le dire, à conserver à l'État et à soustraire aux activités privées, peut-être que, suivant une tradition chère aux Berbères marocains, son nom sera-t-il gardé à quelque source qu'il aura contribué à capter ou à aménager. Comme la koubba d'un saint, le nom des bâtisseurs de fontaines reste encore l'objet de vénération.

En 1907, après la conférence d'Algésiras, Gentil, muni d'une mission chérifienne officielle, avait projeté de s'installer ouvertement, abandonnant toute idée de costume indigène, à Marrakech, d'où il pourrait rayonner dans tout l'Atlas. Il s'était adjoint le Dr Mauchamp qui devait, dans la capitale du Sud si fréquemment désolée par les épidémies, organiser l'assistance hospitalière. Confiant dans l'accueil de la ville, il s'était fait accompagner de sa femme et de sa fille. Une émeute éclata brusquement, à laquelle les intrigues allemandes et celles du futur Sultan Moulay Hafid n'étaient pas étrangères, et le Dr Mauchamp fut assassiné devant sa maison. Grâce à l'influence qu'il avait prise dans la ville, Gentil put pourtant rapidement apaiser les esprits et ramener à Mogador le corps de la malheureuse victime. Mais il dut se résoudre à ajourner ses projets d'exploration de l'Atlas.

En punition du meurtre de Mauchamp, Lyautey, commandant alors les Confins algéro-marocains, occupe l'Amalat d'Oujda. Gentil en profite pour élargir vers l'Ouest, jusqu'aux Beni Snassen, les levés anciens de sa thèse de doctorat. Il complètera l'étude de cette région, l'année suivante, en 1908. Mais l'armée française vient d'occuper la Chaouïa. Il lui est donc possible d'avoir une première idée de ce plateau primaire, recouvert d'une mince pellicule calcaire par la transgression du Crétacé supérieur, qu'il nommera, par comparaison avec son symétrique le plateau central espagnol : la « Meseta marocaine ». En 1909, à la suite de l'accord franco-allemand, Gentil est chargé d'une nouvelle mission qui porte sur la partie orientale de ce plateau central : le pays des Zaer, en arrière de Rabat. Il établit ensuite la liaison entre Rabat et Fez, dont le site est étudié en détail. Il annonce alors que la dépression, comblée de sédiments tertiaires, du Rharb se poursuit vers l'Est, rejoignant par Taza le Miocène d'Oujda. C'est l'idée d'une communication méridionale entre l'Atlantique

et la Méditerranée : le « détroit sud-rifain », symétrique du « détroit nord-bétique » établi par Charles Barrois lors de la mission d'Andalousie. Plus tard, les découvertes du Dr Ph. Russo nous ont appris que cette communication est en fait beaucoup plus large et multiple, la mer miocène ayant occupé au moins une série de sillons parallèles aux chaînons actuels. La communication se ferme à la fin du Miocène (Tortonien), très peu avant que s'ouvre, par cassures, au début du Pliocène, le détroit de Gibraltar.

Ces découvertes amènent Gentil, en 1910, à entreprendre une nouvelle exploration du Nord du Maroc, de Tanger, par Ceuta, au Djebel Moussa (deuxième Colonne d'Hercule) ; puis il parcourt toute la zone littorale rifaine et traverse l'extrémité orientale de cette chaîne, les Kebdana jusqu'au cap de l'Eau (Melilla).

« J'ai trouvé, dit-il, au cours de ce voyage, la preuve du refoulement des terrains primaires et secondaires du Rif sur les dépôts tertiaires de la grande dépression qui sépare cette chaîne de la Meseta marocaine et du Moyen-Atlas. » C'est la première idée d'une structure alpine dans le Nord du Maroc. A partir de 1912, il va montrer que cette structure se poursuit dans toute l'Afrique du Nord.

L'année 1911 a été marquée par le soulèvement des tribus qui assiègent et mettent en danger Fez. Deux colonnes, l'une partant de Rabat, l'autre d'Oujda, tentent de secourir la capitale du Nord. Gentil rejoint la première, à laquelle il indique un passage rapide par le col du Zegotta. Les résultats géologiques sont importants : la découverte de nombreux fossiles confirme que la mer miocène venait battre en falaises le Moyen-Atlas. Cette chaîne est-elle un jalon entre le Haut-Atlas et l'Atlas saharien, comme l'avaient pensé plusieurs géographes ? La traversant quelques années plus tard en direction de la Haute-Moulouya, Gentil montre qu'elle est faite de plateaux calcaires, recouvrant le Primaire de la Meseta et porteurs d'appareils volcaniques admirablement conservés. Gentil avait pu pousser jusqu'au plateau de Ment avec la colonne des Beni Mtir. Il était accompagné d'un officier des Affaires indigènes, littérateur très connu, le capitaine Le Glay, qui en a fait le sujet d'une nouvelle : « L'homme qui a perdu le Moyen-Atlas ». Sur une question de Gentil : Où y a-t-il une montagne séparant la région où nous sommes de Kasbet el Maghzen (dans la vallée de la Moulouya) ?, le guide Ait Youssi lui répondit qu'il n'y avait plus que la plaine, c'est-à-dire pour lui une région parcourable à cheval au galop. Alors, dit Gentil, où est le Moyen-Atlas ? La

chaîne plissée devait être reportée beaucoup plus au Sud. Henri Termier allait plus tard en donner la preuve.

De retour à Paris en juillet 1912, Gentil fut appelé au Ministère de la Guerre pour être questionné sur l'importance de la vallée du Sous. Il apprenait avec stupéfaction que le Gouvernement français envisageait de la remettre à l'Allemagne pour éviter une guerre imminente. Il passa deux jours à essayer de convaincre le Président du Conseil Joseph Caillaux des dangers de cette cession. Elle aurait amené deux ans plus tard, à la mobilisation de 1914, l'existence d'une base allemande à deux étapes de Casablanca. L'abandon à l'Allemagne de la Sangha et du Bec de Canard au Congo, bien que combattu par un très vif mouvement d'opinion publique, fut décidé, essentiellement sous l'influence du Président de la République Fallières. Il n'offrait pas les mêmes inconvénients. Aussitôt signé l'accord franco-allemand, c'est la conclusion du Protectorat, rapidement suivie par la révolte des Taboris (17 avril 1912), mais le 27 de ce mois, Lyautey est désigné comme Résident général et rétablit très vite la situation.

Nous entrons maintenant dans une nouvelle période, essentiellement d'organisation et de pacification, celle du Protectorat. Lyautey nomme Gentil Conseiller scientifique : celui-ci consacra maintenant une grande partie de son temps à la mise en valeur du pays, sans pour cela arrêter d'ailleurs son effort d'exploration géologique. Ce sont d'abord les études des terres cultivables qui le retiennent et, de suite, celles de la plaine de Meknès, que l'on a qualifiée de « plus belle réussite du Protectorat », et des « tirs », ou terres noires, de la Chaouïa. Ensuite, c'est l'alimentation en eau de la superbe plaine de Marrakech, non seulement par l'amélioration de la capture souterraine par galeries (rhettara) de la nappe des cailloutis atlasiques, mais par l'étude du barrage de l'Oued Tessaout. Au même moment se place la création de l'Office chérifien des phosphates, issu de la rencontre providentielle d'un officier du Génie qui venait du bassin phosphatier de Gafsa, Alfred Beaugé, avec Lyautey. Nous possédons au laboratoire de Géographie physique de la Sorbonne un carnet d'itinéraires de Gentil où toutes les étapes de la mise en œuvre de l'exploitation des phosphates sont déjà indiquées, y compris leur évacuation par voie ferrée sur Casablanca et la future station d'embarquement. Ce plan a été très exactement suivi par l'Office chérifien. C'est ensuite, juste après guerre, la création de la Société chérifienne des pétroles et le début en cette matière de la prospection du

Rharb et de la région prérfaine, qu'il confie à l'un de ses élèves, B. Yovanovitch.

Dès la fin de la guerre, l'Institut scientifique chérifien est créé avec le reliquat d'un crédit de mission mis à la disposition de Gentil par le Pari mutuel. Cet Institut, à la tête duquel est appelé le Dr Jacques Liouville, complètera les listes de la flore et de la faune marocaines déjà rassemblées par Louis Gentil, consacrera un service à l'étude du climat marocain et de l'océan, notamment de ses ressources en matière de pêche.

En 1912 paraît un ouvrage, « Le Maroc physique », qui reste encore le seul qui donne une description complète du pays. Mais c'est l'étude de la structure du Maroc qui va être le principal objet des préoccupations de Gentil.

Dès le mois de juin 1914, il avait profité du succès des deux colonnes de Taza, qui établissaient pour la première fois une liaison permanente entre les deux parties du pays, pour rejoindre entre elles les deux parties essentielles de son œuvre. Le sommet de la courbure de l'arc rifain était le lieu le plus favorable pour observer le chevauchement des unités rifaines sur la Meseta marocaine : au col de Touhar, les marnes crétacées du Prérif et leur soubassement de marnes irisées du Trias supérieur recouvrent les molasses très fossilifères du Burdigalien, qui surmontent des schistes ardoisiers de la Meseta, soubassement du Moyen-Atlas. C'est exactement en ce point que se réunirent les deux colonnes. La confirmation de la structure du Prérif, que Gentil avait indiquée en collaboration avec M. Lugeon et L. Joleaud en 1912, était apportée. Gentil généralisait la structure en nappes du Nord de la Berbérie, dont il avait donné dans sa thèse les éléments. Les travaux ultérieurs de Paul Fallot, Maurice Blumenthal, Fernand Daguin, J. Marçais (qui malheureusement ne les a pas encore publiés), Gauthier et Louis Glangeaud consolidèrent considérablement cette hypothèse et montraient la généralité de la tectonique de tout le bord méridional de la Méditerranée, rigoureusement symétrique de celle de l'Espagne méridionale. Le dernier de ces auteurs et ses élèves devaient en élucider le mécanisme.

La zone la plus avancée du Rif, en contact avec le Miocène marin du Rharb, a été appelée par lui, par analogie avec la zone préalpine : zone prérfaine.

« La zone prérfaine appartient à un pays de nappes, où les lambeaux de recouvrement sont formés de Jurassique et de Burdigalien (Miocène inférieur). Les nappes, ou leurs digitations, sont enveloppées par une autre masse de recouvrement constituée par le Trias lagunaire, dont il ne subsiste que des lambeaux épars enrobés dans les marnes helvétiques.

Le Jurassique dessine une guirlande formée par les chaînons du Nador, de l'Outita, du Kefs et du Zerhoun. Le Trias, toujours en situation anormale, offre, dans le bassin du Sebou, des marnes liées stratigraphiquement, en apparence au moins, aux marnes helvétiques qui correspondent aux coussinets des nappes prérfaines. Il se montre pincé en synclinaux couchés et étirés.

Les nappes prérfaines sont charriées vers le Sud et leur région frontale a épousé les sinuosités du bord septentrional de l'avant-pays hercynien. C'est ainsi que le front de la nappe du Zerhoun est orienté E-W, tandis que les autres ont dévié pour prendre finalement une orientation N-S. La guirlande ainsi formée dessine un demi-cercle dont le rayon n'excède pas 25 km.

Le grand mouvement de charriage est visiblement postérieur au dépôt des marnes helvétiques, tandis que les grès et conglomérats tortoniens apparaissent comme faiblement plissés.

Le phénomène orogénique s'est donc accompli à la fin de l'Helvétien ou au début du Tortonien. Il est contemporain du mouvement de translation des nappes de l'Algérie occidentale et des confins algéro-marocains.

Ces idées vont être malheureusement combattues, notamment par Pierre Termier et le Service géologique du Maroc. Les levers ultérieurs de Léon Lutaud dans le Rharb, les miens dans la région d'Ouezzane et même la carte si précise de Daguin dans le Prérif sont vivement critiqués. L'idée de la structure en nappes de l'Afrique du Nord est devenue complètement hérétique. Au Congrès international de Bruxelles (1921), les discussions avec les géologues algériens sont d'une rare violence.

La synthèse de Gentil se heurtait à deux difficultés. La première était cartographique : la grande similitude entre les marnes helvétiques et les marnes sénoniennes, avec lesquelles elles ont souvent été confondues. La seconde est d'ordre mécanique : la difficulté d'admettre que le Jurassique, essentiellement calcaire, des rides prérfaines, ait pu être déformé sous la poussée d'une masse miocène, éminemment plastique. Dans une dernière note sur la Dorsale tunisienne, Gentil suggère l'idée d'un écaillage de l'autochtone. Si l'on admet que les recouvrements anormaux sont dus à des *sous-charriages* d'un substratum qui se plisse et que bien des traits de la tectonique actuelle sont dus, comme Louis Glangeaud et ses élèves l'ont montré dans la région d'Alger, à des écoulements par gravité, la deuxième difficulté est surmontée. Dans une série de notes prophétiques — que viennent souvent appuyer les études de la jeune équipe, réunie à la fin de sa vie par Paul Fallot — Gentil envisage le problème crucial du raccord entre système rifain et système bétique d'Espagne. Il affirme — ce que les recherches modernes retrouvent de manière éclatante — l'unité structurale des deux rives du détroit de Gibraltar : les

charriages rifains prolongent les charriages espagnols.

Du côté marocain, il envisage que « le Flysch nummulitique qui affleure entre le cap Spartel et le Djebel Mousa est charrié, recouvrant, au Sud de Tanger, des dômes crétacés (cénomaniens et sénoniens), peut-être autochtones ». Le fait est maintenant établi par des levers détaillés.

Du côté andalou, le caractère charrié de l'ensemble des terrains entre Algésiras et le bassin de Guadalquivir est affirmé également, après quelques tournées sur le terrain. Si la subdivision de Gentil en trois nappes, l'inférieure à matériel nummulitique, la moyenne à matériel jurassique et crétacé inférieur, la supérieure à matériel triasique, ne correspond pas aux faits actuellement connus, l'une des interprétations essentielles, le caractère allochtone du Trias, tantôt en recouvrement, tantôt en fenêtre, est affirmé avec force ; et cela, dans toute l'Andalousie, de Cadix à Antequera et à Jaen. Les études modernes, tant les levers détaillés de surface que les sondages pétroliers, paraissent bien appuyer un tel point de vue.

Enfin, l'âge de tous ces systèmes de nappes paraît bien celui que Gentil leur assignait : postérieur à l'« Helvétien », antérieur au « Tortonien ».

Quarante ans avant les travaux modernes de la jeune équipe française qui s'attaque aux problèmes rifains et bétiques, ne peut-on parler de vues prophétiques, et, qui sait ? de génie !

Tous les résultats des voyages de Gentil ont été résumés dans sa notice de 1918 et dans les deux cartes au 500 000^e de 1912 et de 1922, dessinées sur une topographie originale. Au cours du Congrès géologique international en Afrique du Nord de 1952, Jean Marçais avait exposé côte à côte ces deux cartes et celle du Service résumant tous les travaux jusqu'en 1935. A l'exception des régions où la pénétration était impossible et qui sont barrées de rouge, l'image du Maroc, avec un léger recul, était la même sur les trois cartes. Les seuls terrains qui n'avaient pas été reconnus par Gentil sont le Précambrien et le Cambrien de l'Anti-Atlas. Un dernier voyage du Sous au Drâ va lui permettre de les toucher. En 1923, accompagné du D^r Nain et du C^t Denis, il devait suivre les traces de Foucauld et traverser cette chaîne jusqu'à Agadir Tissint, au bord du Sahara. Cette mission, au cours de laquelle il contracta l'infection à laquelle il devait succom-

ber en 1925, amena la soumission entièrement pacifique au sultan de la bande de terrains reconnus.

Nommé Professeur à la chaire de Géographie physique de la Faculté des Sciences de Paris en 1919, Gentil eut une très grande influence sur les étudiants et suscita de nombreuses vocations de voyageurs par son ardeur et son enthousiasme. Je ne veux en citer qu'un exemple : il accepta en 1920 d'exercer les fonctions très absorbantes, et en tout cas souvent pénibles, de Recteur de l'Université, créée en France pour les savants russes et leurs étudiants qui s'y étaient réfugiés. Sous son influence, une grande partie de ceux-ci se dirigèrent, après leur licence, vers la géologie africaine. Ils apportèrent une contribution considérable à la connaissance du Sahara et aussi de l'Afrique occidentale et équatoriale.

Parmi les savants russes que Gentil accueillit dans son laboratoire, il faut faire une place à part aux spécialistes de la pédologie, cette science des sols, alors à peu près inconnue en France.

Au cours de ses années d'explorations, Gentil avait dû se former à d'autres techniques que celles de la géologie, notamment à la géographie botanique, à la météorologie, à la topographie et à la physique des sols meubles. Il tint à ce que celles-ci soient enseignées dans son laboratoire et que celui-ci devienne une école pratique d'exploration. Un des moyens utilisés a été une entente très intime avec les brigades, travaillant en Afrique, du Service géographique de l'Armée. Le laboratoire de Géographie physique était ouvert à une très grande variété d'études, mais son directeur n'a jamais oublié qu'il avait été physicien à l'origine. C'est à cause de lui qu'a été ajouté le nom de Géologie dynamique.

Louis Gentil est une des plus belles illustrations de l'importance qu'a eue l'Afrique du Nord dans le développement de la science française. Il n'a jamais oublié tout ce qu'il avait reçu de la terre africaine. Son plus cher désir était de rendre à sa population ce qu'il avait reçu d'elle. Malgré les récents changements, son nom reste lié à la création de ce chef-d'œuvre qu'est le Maroc. Il aurait souhaité aider le nouvel État de toutes ses forces. C'est en fonction de ce vœu que nous avons remis au Maroc la bibliothèque très complète qu'il avait patiemment réunie au cours de sa carrière.

Liste des publications de Louis Gentil.

1889. 1. Action du chlorure de zinc sur l'alcool isobutylique en présence de l'acide chlorhydrique. Rôle du chlorure d'isobutyle. Propriétés des isopolybutylènes. *C. R. Ac. Sc.*, t. CVIII, p. 957-960 (en coll. avec H. MALBOT).
1890. 2. Préparation des isopolybutylènes au moyen de l'alcool isobutylique chauffé avec du chlorure de zinc en présence d'une petite dose de chlorure d'isobutyle. *Ann. Chimie et Physique*, (6), t. XIX, p. 1-37 (en coll. avec H. MALBOT).
1894. 3. Sur un gisement d'apophyllite des environs de Collo (Constantine). *C. R. Ac. Sc.*, t. CXVIII, p. 369-372 et *Bull. Soc. fr. fr. Min.*, t. XVII, p. 11-28.
4. Sur l'existence de la hornblende dans les tufs volcaniques du Monte Vulture (Basilicate). *Ibid.*, t. XVII, p. 81-84.
5. Sur un gisement de datolite en Algérie. *Ibid.*, t. XVII, p. 85-87.
6. Sur la microstructure de la mélilite. *C. R. Ac. Sc.*, t. CXVIII, p. 998-1000, et *Bull. Soc. fr. Min.*, t. XVII, p. 108-118.
7. Sur un gisement de grenat mélanite à anomalies optiques en Algérie. *Ibid.*, t. XVII, p. 269-272.
1895. 8. Sur un gisement de sillimanite dans le massif d'Alger. *Ibid.*, t. XVIII, p. 169-170.
9. Sur quelques zéolites d'Algérie. *Ibid.*, t. XVIII, p. 374-376.
10. Sur les gîtes calaminaires de l'Ouarsenis (dép. d'Alger). *C. R. 24^e Congr. A. F. A. S.*, Bordeaux, 2^e part. (éd. 1896), p. 542-555.
1896. 11. Matériaux pour la minéralogie de l'Algérie. *C. R. Ac. Sc.*, t. XVIII, p. 399-414.
12. Matériaux pour la minéralogie de l'Algérie. *Bull. Soc. fr. Min.*, t. XIX, p. 22-28.
13. Sur les terrains tertiaires de la vallée inférieure de la Tafna. *C. R. Ac. Sc.*, t. CXXII, p. 802-804.
14. Sur les gypses métamorphiques de l'Algérie. *Ibid.*, t. CXXII, p. 958-960.
15. Sur l'âge des éruptions ophiitiques de l'Algérie. *Ibid.*, t. CXXII, p. 1014-1017.
16. Sur les minéraux du cratère ancien de Ben Ganah (Algérie, Oran). *Bull. Mus. Hist. nat.*, t. II, p. 109-112.
17. Sur un gisement de hornblende basaltique à Beni-Saf. *Ibid.*, t. II, p. 157-160.
18. Sur les minéraux d'un cratère ancien des environs d'Aïn Temouchent (Algérie). *C. R. 25^e Congr. A. F. A. S.*, Carthage, p. 295-300.
19. Sur les volcans éteints des environs d'Aïn Temouchent. *Bull. Soc. Géogr. Oran*, p. 1-11.
1897. 20. Sur le gisement de nadorite d'Algérie. *Bull. Mus. Hist. nat.*, t. III, p. 258-260.
21. Sur le gisement de zéolites de Dellys, Alger. *Ibid.*, t. III, p. 337-342.
22. Le Trias dans la région de Souk Ahras (Algérie). *B. S. G. F.*, (3), XXV, p. 523-547 (en coll. avec J. BLAYAC).
23. Sur les roches de quelques gisements ophiitiques d'Algérie. *Ibid.*, (3), XXV, p. 117-119.
24. Le gisement zéolitique du cap Djinet (Alger). *C. R. 26^e Congr. A. F. A. S.*, Saint-Étienne, p. 422-436.
1898. 25. Note sur l'existence du Trias gypseux dans la province d'Oran (Algérie). *B. S. G. F.*, (3), XXVI, p. 457-471.
26. Sur une application de la géologie à l'archéologie. *Bull. Soc. Géogr. Oran*, p. 37-41.
1899. 27. Histoire du massif de Santa Cruz d'Oran. *Ibid.*, p. 423-428.
28. Un cas singulier de recherche d'eau en Algérie (le lac Karar). *C. R. Congr. Soc. sav.*, Toulouse (1899), p. 147-157.
1900. 29. Le volcan andésitique de Tifarouine (Algérie). *C. R. Ac. Sc.*, t. CXXX, p. 796-798.
30. Résumé stratigraphique sur le bassin de la Tafna. Terrains primaires et secondaires. *C. R. 29^e Congr. A. F. A. S.*, Paris, p. 594-608.
1902. 31. Sur la cendre de l'éruption de la Martinique. *B. S. G. F.*, (4), II, p. 320-321.
32. Esquisse stratigraphique et pétrographique du bassin de la Tafna, Algérie. Alger, 1 vol. in-8°, 540 p.
1903. 33. Notice géologique de Béni-Saf (Oran) au 50 000^e. Alger, Publ. Serv. Carte géol. Algérie.
34. D'Oran à la frontière marocaine. Conférence à « La France colonisatrice », Rouen, p. 65-73.
35. Étude géologique du bassin de la Tafna. Thèse Paris 1903. *Publ. Serv. Carte géol. Algérie.*, 2^e sér., n° 4, 1 vol. in-8°, 425 p.
1904. 36. Le Continent africain considéré comme une vaste province pétrographique caractérisée par des roches riches en alcalis. *C. R. 33^e Congr. A. F. A. S.*, Grenoble, p. 613-619.
37. Sur un nouveau gisement barrémien de la chaîne du Tessala (Oran). *Ibid.*, p. 619-620.
38. Sur des gisements calloviens de la frontière marocaine. *Ibid.*, p. 641-644 et *C. R. Ac. Sc.*, t. CXXXIX, p. 376-378 (en coll. avec P. LEMOINE).
39. Sur l'existence de roches alcalines dans le centre africain. *Ibid.*, t. CXXXIX, p. 413-415.
1905. 40. Sur les roches cristallines rapportées par la mission saharienne. *Ibid.*, t. CXL, p. 46-47 (en coll. avec FOUREAU).
41. Les régions volcaniques traversées par la mission saharienne. *Ibid.*, t. CXL, p. 1200-1201 (en coll. avec FOUREAU).
42. Documents scientifiques de la mission saharienne (Mission Foureau-Lamy). Pétrographie, p. 697-749. Paris, Masson éd., in-4°.
43. Les reconnaissances de M. Gentil au Maroc. *Bull. Comité Afr. fr.*, p. 194-198.
44. Sur la présence de schistes à Graptolithes dans le Haut-Atlas marocain. *C. R. Ac. Sc.*, t. CLX, p. 1659-1660.
45. Sur l'existence d'un remarquable gisement pliocène à Tétouan (Maroc). *Ibid.*, t. CLX, p. 1725-1726 (en coll. avec A. BOISTEL).
46. Exploration scientifique du Maroc. *Bull. A. F. A. S.*, pp. 211, 287.
47. Observations géologiques dans le Sud marocain. *B. S. G. F.*, (4), V, p. 521-523.
48. Les régions volcaniques traversées par la mission saharienne Foureau-Lamy. *La Nature*, p. 67-70.
49. Sur la géologie du Sahara. *B. S. G. F.*, (4), V, p. 613.

50. Quelques observations sur la géologie du Maroc occidental. *Ibid.*, (4), V, p. 758-759.
1906. 51. Une mission scientifique au Maroc. *La France colonisatrice*, p. 33-52.
52. L'arganier ou l'arbre du Sous (Maroc). *La Nature*, p. 171-174.
53. Découverte de deux horizons crétacés remarquables au Maroc. *C. R. Ac. Sc.*, t. CXLII, p. 603-605 (en coll. avec W. KILIAN).
54. Contribution à la géologie et à la géographie physique du Maroc. *Ann. Géogr.*, t. XV, n° 80, p. 133-151.
55. Les résultats géologiques de la mission saharienne Fourreau-Lamy (1905). *Bull. Comité Afr. fr., Rens. colon. et doc.*, p. 321-324.
56. Dans le Bled es Siba. Explorations au Maroc. 1 vol. in-4°, 380 p. Paris, Masson éd.
57. Contribution à la géographie physique de l'Atlas marocain. *C. R. Ac. Sc.*, t. CXLII, p. 811-814.
58. Sur le Jurassique du Maroc occidental. *C. R. 34^e Congr. A. F. A. S.*, Cherbourg (1905), p. 331-340 (en coll. avec P. LEMOINE).
59. L'œuvre topographique du capitaine Larras au Maroc. *La Géographie*, t. XIV (1900), p. 367-375.
1907. 60. Notice sur l'esquisse géologique du Haut-Atlas occidental (Maroc). *Ann. Géogr.*, t. XVI, n° 85, p. 70-77.
61. La mission de Louis Gentil au Maroc (1907). *Bull. Comité Afr. fr., Rens. col. et doc.*, n° 2, p. 33-41.
62. Résultats topographiques et géographiques d'une mission dans le Nord-Marocain et à Marrakech. *P.-V. Comm. Topogr. Club alpin fr.*, 17 mai, p. 7-9.
63. Sur les terrains crétacés de l'Atlas occidental marocain. *C. R. Ac. Sc.*, t. CXLIV, p. 49-51 (en coll. avec W. KILIAN).
64. Sur l'Aptien, le Gault et le Cénomanien et sur les caractères généraux du Crétacé inférieur et moyen de l'Atlas occidental marocain. *Ibid.*, t. CXLIV, p. 105-107 (en coll. avec W. KILIAN).
1908. 65. Sur des gisements pliocènes de la côte occidentale du Maroc. *B. S. G. F.*, (4), VIII, p. 8-9 (en coll. avec A. BOISTET).
66. Principaux résultats d'une mission au Maroc (1907). *Ibid.*, (4), VIII, p. 10-11.
67. Sur la construction d'une carte d'itinéraire à l'échelle du 50 000^e dans le Haut-Atlas marocain. *P.-V. Comm. Topogr. Club alp. fr.*, 8 janv., p. 3.
68. Sur le volcan de Siraoua (Anti-Atlas marocain). *C. R. Ac. Sc.*, t. CXLVI, p. 185-187.
69. De l'origine des terres fertiles du Maroc occidental. *Ibid.*, t. CXLVI, p. 243-246.
70. Constitution géologique du Djebel Siroua (Anti-Atlas marocain). *B. S. G. F.*, (4), VIII, p. 29-30.
71. Contribution à l'étude des roches alcalines du Centre africain. *Ibid.*, (4), VIII, p. 44-46 et *C. R. Ac. Sc.*, t. CXLVI, p. 352-353 (en coll. avec FREYDENBERG).
72. Recherches stratigraphiques sur le Maroc oriental. *Ibid.*, t. CXLVI, p. 427-430.
73. L'origine des terres fertiles du Maroc occidental et réponse à l'observation de M. P. Vincey. *B. S. G. F.*, (4), VIII, p. 31-33.
74. Sur la tectonique du littoral de la frontière algéro-marocaine. *C. R. Ac. Sc.*, t. CXLVI, p. 712-715.
75. Observations sur la géologie du pays entre l'Oubangui et le Chari, d'après les échantillons rapportés par M. G. Bruel. *Bull. Comité Afr. fr., Rens. col.*, p. 98-100 (en coll. avec P. LEMOINE).
76. Itinéraires dans le Haut-Atlas marocain. *La Géographie*, t. XVIII, n° 3, p. 177-200, carte au 250 000^e.
77. Rapport sur une mission géologique au Maroc (janvier-novembre 1907). *Nouv. Arch. Miss. sc.*, t. XVI, p. 189-216.
78. Rapport sur les recherches de M. L. Gentil (faites en 1902) dans la région de Nemours. *Bull. Soc. géogr. Oran*, t. XXVIII, p. 1-12.
79. Sur la constitution géologique du massif des Beni Snassen. *C. R. Ac. Sc.*, t. CXLVI, p. 1344-1346.
80. La mission Louis Gentil au Maroc (1908). I. Le massif des Beni Snassen. *Bull. Comité Afr. fr.*, p. 216-218.
81. Esquisse géologique du massif des Beni Snassen. *B. S. G. F.*, (4), VIII, p. 391-417.
1909. 82. La mission Louis Gentil au Maroc (1908). II. La Chaouïa et le Maroc septentrional. *Bull. Comité Afr. fr.*, p. 65-75.
83. Mission Louis Gentil au Maroc. 1^{er} rapport sommaire. *Bull. Soc. Géogr.*, t. XX, p. 325-327.
84. Sur la formation du détroit de Gibraltar. *C. R. Ac. Sc.*, t. CXLVIII, p. 1227-1230.
85. Résultats stratigraphiques d'une mission en Chaouïa (Maroc). *Ibid.*, t. CXLVIII, p. 1350-1352.
86. Réception de la Mission Louis Gentil en séance extraordinaire, à la Société de Géographie. *Bull. Soc. Géogr.*, t. XXI, p. 293-295.
87. Contribution à l'étude de la formation du détroit de Gibraltar. *B. S. G. F.*, (4), IX, p. 220-222.
88. Sur la stratigraphie de la Chaouïa (Maroc). *Ibid.*, (4), IX, p. 222-224.
89. Sur la tectonique de la Chaouïa (Maroc occidental). *Ibid.*, (4), IX, p. 224-226.
90. Sur l'extension dans la Chaouïa des tirs ou terres fertiles du Maroc occidental. *C. R. Ac. Sc.*, t. CXLVIII, p. 1619-1621.
91. Nouvelles observations sur les tirs dans la Chaouïa. *B. S. G. F.*, (4), IX, p. 226-227.
92. Réponse aux observations de M. Brives au sujet de la stratigraphie des Chaouïa et des Beni Snassen. *Ibid.*, (4), IX, p. 230-231.
93. Rapport sur une mission scientifique au Maroc en 1908. *Nouv. Arch. Miss. sc.*, t. XVIII, p. 29-71.
94. Contribution à l'étude de la flore marocaine. Première liste des plantes récoltées par M. Gentil. Note présentée par E. Perrot. *Bull. Soc. bot. Fr.*, (4), t. IX, p. LXXXVIII-XCII.
95. Résultats géographiques d'une mission au Maroc en 1908. *P.-V. Comm. Topogr. Club alpin fr.*, 4 mars, p. 10-12.
96. Une leçon de géographie physique sur le Maroc (chaire de Géographie physique de la Faculté des Sciences de Paris). *Revue Géogr. ann.*, t. III, p. 471-495.
1910. 97. Contribution à l'étude tectonique du Haut-Atlas marocain. *B. S. G. F.*, (4), X, p. 162-163.
98. Mission Louis Gentil au Maroc. 2^e rapport sommaire. *Bull. Soc. Géogr.*, t. XXI, p. 121-125.
99. Observations au sujet de la communication de M. H. Douvillé sur des fossiles de la Chaouïa (Maroc occ.) recueillis par P. Jordan. *B. S. G. F.*, (4), X, p. 266.
100. Observations à la suite d'une communication de MM. J. Cottreau et P. Lemoine sur la pré-

- sence du Cénomani en aux Canaries. *Ibid.*, (4), X, p. 271.
101. Principaux résultats géographiques d'une mission en 1909 au Maroc. *P.-V. Comm. Topogr. Club alpin fr.*, p. 15-17.
102. Principaux résultats d'une récente mission au Maroc (été-automne 1909). *B. S. G. F.*, (4), X, p. 304-306.
103. Le Maroc et ses richesses naturelles. *Bull. Soc. Géogr.*, t. XXI, p. 301-320.
104. Rapport sur l'attribution du prix Viquesnel à R. Douvillé. *B. S. G. F.*, (4), X, p. 342-345.
105. Sur la présence du Priabonien dans le Nord du Maroc. *Ibid.*, (4), X, p. 484-485 (en coll. avec J. BOUSSAC).
106. Sur la structure du Haut-Atlas marocain. *Ibid.*, (4), X, p. 486-488.
107. Nouveaux itinéraires dans le Sud-Ouest marocain. *Ibid.*, (4), X, p. 525-526.
108. Sur la basse Mlouya. *Ibid.*, (4), X, p. 780-782.
109. Recherches de géologie et de géographie physique. In Mission de Segonzac au Maroc (1904-1905), p. 695-773. Paris, E. Larose éd.
110. Les mouvements orogéniques dans le Haut-Atlas marocain. *C. R. Ac. Sc.*, t. CL, p. 1275-1278.
111. Les mouvements tertiaires dans le Haut-Atlas marocain. *Ibid.*, t. CL, p. 1465-1468.
112. Aperçu géologique sur le massif des Kebdana (Maroc oriental). *Ibid.*, t. CLII, p. 781-785.
113. Le cours inférieur de la Mlouya (Maroc oriental). *Ibid.*, t. CLII, p. 1094-1097.
114. A propos d'un article de M. R. Flotte de Roquevaire (Die Kartographie von Marokko) paru dans les *Pettermanns Mitteilungen*. *P.-V. Comm. Topogr. Club alpin fr.*, p. 23-25.
1911. 115. Résultats géographiques d'une mission dans le Nord marocain. *Ibid.*, 5 janv., p. 6-7.
116. Sur les dépôts du détroit sud-rifain. *C. R. Ac. Sc.*, t. CLII, p. 293-296.
117. Un panorama de la moyenne Mlouya (Maroc oriental). *Ibid.*, t. CLII, p. 1715-1718.
118. Au sujet des confins algéro-marocains. *Bull. Soc. Géogr.*, t. XXIII, p. 73-74.
119. Sur le détroit sud-rifain. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 21-22.
120. Récentes observations sur le Rif occidental, à propos d'une question de M. Maurice Lugeon. *Ibid.*, p. 22-24.
121. Remarques sur la tectonique du Haut-Atlas, à propos d'une communication de Léon Bertrand sur la structure des Pyrénées occidentales. *Ibid.*, p. 66-67.
122. Sur la formation du détroit sud-rifain. *C. R. Ac. Sc.*, t. CLII, p. 415-418.
123. L'avenir économique de l'Amalat d'Oujda. *Bull. Soc. Géogr.*, t. XXIII, p. 396-401.
124. Les grandes lignes du relief marocain. *Rev. gén. Sciences*, 22^e ann., p. 486-493.
125. L'Amalat d'Oujda. Étude de géographie physique. *La Géographie*, t. XXIII, p. 17-38 et 331-356.
126. Recherches sur le relief de la vallée de la Mlouya et de la région de Fez. *P.-V. Comm. Topogr. Club alpin fr.*, 27 oct., p. 37-39.
127. Le pays des Zaer (Maroc occidental). *C. R. Ac. Sc.*, t. CLIII, p. 839-841.
128. Remarques au sujet d'une note de M. G. Do'llfus sur une faune tertiaire du Rio de Oro. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 158-159.
129. Sur la tectonique du Haut-Atlas oriental; à propos d'une communication de H. Roux sur l'Atlas saharien. *Ibid.*, p. 176-177.
130. Remarques à propos d'une communication de René Chudeau sur la Mauritanie. *Ibid.*, p. 193.
131. Présentation d'une carte géologique du Maroc à l'échelle de 2 500 000^e. *Ibid.*, p. 193-195.
1912. 132. Observations géologiques sur la ligne d'étapes de la colonne Moinier entre Fez et la côte atlantique. *C. R. Ac. Sc.*, t. CLIV, p. 89-91.
133. Allocution présidentielle à la Société géologique de France, le 15 janvier 1912. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 5-8.
134. Observations géologiques entre Fez et la côte Atlantique (Maroc). *Ibid.*, p. 12-13.
135. Sur quelques points de la géologie du Haut-Atlas marocain. *Ibid.*, p. 25-27.
136. Remarques au sujet d'observations de M. Brives sur une carte géologique du Haut-Atlas marocain. *Ibid.*, p. 40.
137. La géologie du Maroc et la genèse de ses grandes chaînes. *Ann. Géogr.*, t. XXI, n^o 16, p. 130-158.
138. Présentation de la note précédente : « Géologie du Maroc et la genèse de ses grandes chaînes », accompagnée d'une carte générale du Maroc. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 50.
139. Sur la structure de l'Atlas saharien. *C. R. 50^e Congr. Soc. sav.*, Paris, p. 9.
140. Sur la tectonique du Haut-Atlas marocain et ses relations avec l'Atlas saharien. *C. R. Ac. Sc.*, t. CLIV, p. 1011-1014.
141. Allocution présidentielle à la Réunion extraordinaire de la Société géologique de France. *B. S. G. F.*, (4), XII, p. 690.
142. Rapport sur l'attribution du Prix Prestwich à E. de Margerie. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 63-66.
143. Sur l'origine des plis de l'Atlas saharien. *C. R. Ac. Sc.*, t. CLIV, p. 1191-1194.
144. Le rôle de l'Atlas et du Rif dans l'orographie du Nord de l'Afrique. *Revue du Mois*, 7^e ann., n^o 78, p. 641-684.
145. Le Maroc physique. Paris, Alcan éd., Nouv. Coll. scient., 1 vol., 320 p.
146. La geologia de Marueccos y la genesis de sus grandes Cordilleras (version espanola por Vicente VERA). *Bol. r. Soc. Geogr. Madrid*, t. IV, 4^e trim., p. 470-512.
1913. 147. Allocution à la Société géologique de France. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 3-6.
148. Structure de la zone littorale du Maroc oriental et de l'Algérie occidentale. *Ibid.*, p. 71-73.
149. Vue d'ensemble sur le relief du Maroc. *Rev. du Mois*, 8^e ann., n^o 87, p. 346-365.
150. Sur la structure de la zone littorale de l'Algérie occidentale. *C. R. Ac. Sc.*, t. CLVI, p. 965-968.
151. Sur les effets au Maroc du grand tremblement de terre en Portugal (1755). *Ibid.*, t. CLVII, p. 805-807 (en coll. avec PEREIRA de SOUSA).
1914. 152. Sur la structure du plateau des Beni-Mtir (Maroc central). *Ibid.*, t. CLVIII, p. 146-149.
153. Remarques à propos d'une note de M. E. Poirée sur les plateaux des Beni Mtir et des Beni Mguild (Maroc central). *C. R. somm. S. G. F.*, p. 68-69.
154. Le Maroc, sa pacification, son outillage économique, le développement de ses échanges. *Bull. Fédér. Ind. et Commerçants franç.*, 11^e ann., n^o 128, p. 270-275.
155. Les voies de communication au Maroc. *Rev. gén. Sciences*, 25^e ann., n^o 7, p. 336-340.

156. La recherche scientifique au Maroc. *Ibid.*, 25^e ann., n° 7, p. 393-400.
157. Esquisse hydrologique de la région de Meknès. *Bull. Soc. Géogr. comm. Paris*, t. XXXVI, n° 6, p. 385-397.
158. Sur la structure du plateau d'Oulmès. *C. R. Ac. Sc.*, t. CLIX, p. 659-661.
159. La géologie du Maroc. *C. R. 12^e sess. Congr. géol. intern., Ottawa*, p. 703-705.
1915. 160. Le Crétacé moyen et supérieur dans le Haut-Atlas occidental (Maroc). *C. R. Ac. Sc.*, t. CLX, p. 771-774.
161. Les analogies du Haut-Atlas marocain et de l'Atlas saharien. *Ibid.*, t. CLXI, p. 103-105.
162. L'histoire physique du Maroc (Conférence à l'Exposition franco-marocaine de Casablanca). *Bull. Off. Protectorat Rép. franç. Maroc*, t. IV, n° 159, p. 769-779, et *Conf. franco-marocaine*, Paris, 1917, Libr. Plon, I, p. 281-305.
1916. 163. Sur l'existence de volcans récents dans le Maroc central. *C. R. Ac. Sc.*, t. CLXII, p. 228-231.
164. Sur la structure du Moyen-Atlas (Maroc central). *Ibid.*, t. CLXII, p. 329-332.
165. Sur la « Trouée de Taza » (Maroc septentrional). *Ibid.*, t. CLXIII, p. 705-708.
166. Observations à la suite d'une communication du Dr E. Poirée sur la région de Sidi Kassem (Maroc septentrional). *C. R. somm. S. G. F.*, p. 59-60.
167. Rapport sur l'attribution du Prix Viquesnel à L. Joleaud. *Ibid.*, p. 67-71.
168. A propos d'une carte géologique au 200 000^e du Nord de la province d'Oran (Algérie). *Ibid.*, p. 177-178.
169. Note sur la région volcanique du Maroc central. *B. S. G. F.*, (4), XVI, p. 186-218.
1917. 170. Sur une faune miocène supérieure marine (sahélienne) dans le Rharrb (Maroc occidental). *C. R. Ac. Sc.*, t. CLXIV, p. 21-25 (en coll. avec Ch. DÉPÉRET).
171. Sur le Miocène supérieur marin (Sahélien) de l'Ouest algérien. *Ibid.*, t. CLXIV, p. 357-360.
172. Sur la géologie d'Agadir ; à propos de deux communications de W. Kilian. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 36-37.
173. Sur la carte géologique au 200 000^e du bassin de Tafna ; réponse à M. E. Ficheur. *Ibid.*, pp. 58 et 167-168.
174. Sur le Néogène de l'Algérie occidentale. *Ibid.*, p. 65-67.
175. Sur le Miocène supérieur et le Pliocène de la vallée de la Tafna. *Ibid.*, p. 168.
176. Sur l'existence de nappes de charriage dans la région de Bizerte (Tunisie). *C. R. Ac. Sc.*, t. CLXV, p. 365-367 (en coll. avec L. JOLEAUD).
177. Sur la découverte d'une lentille de houille en Tunisie. *Ibid.*, t. CLXV, p. 506-508 (en coll. avec L. JOLEAUD).
1918. 178. Sur l'existence de charriage dans la région de Tunis. *Ibid.*, t. CLXVI, p. 42-45 (en coll. avec L. JOLEAUD).
179. Les grandes zones tectoniques de la Tunisie. *Ibid.*, t. CLXVI, p. 119-121 (en coll. avec L. JOLEAUD).
180. Sur l'existence de grandes nappes de recouvrement dans le bassin du Sebou (Maroc). *Ibid.*, t. CLXVI, p. 217-219 (en coll. avec M. LUGEON et L. JOLEAUD).
181. Sur l'extension des nappes de recouvrement du bassin du Sebou (Maroc). *Ibid.*, t. CLXVI, p. 290-293 (en coll. avec M. LUGEON et L. JOLEAUD).
182. Sur l'âge du détroit sud-rifain. *Ibid.*, t. CLXVI, p. 418-420.
183. Sur l'existence d'une nappe triasique indépendante dans le bassin du Sebou (Maroc). *Ibid.*, t. CLXVI, p. 472-474 (en coll. avec M. LUGEON et L. JOLEAUD).
184. Sur l'âge des nappes pré-rifaines et sur l'écrasement du détroit sud-rifain (Maroc). *Ibid.*, t. CLXVI, p. 614-616 (en coll. avec M. LUGEON et L. JOLEAUD).
185. Sur l'existence de grandes nappes de recouvrement dans la province de Cadix (Espagne méridionale). *Ibid.*, t. CLXVI, p. 1003-1005.
186. Sur l'extension en Andalousie des nappes de recouvrement de la province de Cadix (Espagne méridionale). *Ibid.*, t. CLXVII, p. 83-85.
187. Sur l'origine des nappes de recouvrement de l'Andalousie. *Ibid.*, t. CLXVII, p. 238-240.
188. Sur les dépôts néogènes du détroit nord-bétique (Espagne méridionale). *Ibid.*, t. CLXVII, p. 299-302.
189. Sur l'âge des nappes de recouvrement de l'Andalousie et sur leur raccordement avec les nappes pré-rifaines (Maroc septentrional). *Ibid.*, t. CLXVII, p. 373-375.
190. Sur le synchronisme des dépôts et des mouvements orogéniques dans les détroits nord-bétique et sud-rifain (Espagne méridionale et Maroc). *Ibid.*, t. CLXVII, p. 727-729.
191. Un voyage à Taza (Maroc septentrional). *C. R. somm. S. G. F.*, p. 54-56.
192. Sur la structure de la Tunisie septentrionale. *Ibid.*, p. 59-61 (en coll. avec L. JOLEAUD).
193. Les nappes de charriages du bassin du Sebou (Maroc occidental). *Ibid.*, p. 115-117 (en coll. avec M. LUGEON et L. JOLEAUD).
194. Le Maroc, son passé, son avenir. Conférence faite sous les auspices l'A. F. A. S. à Clermont-Ferrand. Paris, A. F. A. S., vol. pour 1918, p. 94-128.
195. Les nappes de charriage de l'Afrique du Nord. *Rev. gén. Sciences*, 29^e ann., n° 19, p. 533-540 (en coll. avec L. JOLEAUD).
196. Notice sur les titres et travaux scientifiques de M. Louis Gentil. in-8°, 132 p. Paris, E. Larose éd.
197. Notes d'un voyage géologique à Taza (Maroc septentrional). Contribution à l'étude du détroit sud-rifain. *B. S. G. F.*, (4), XVIII, p. 129-177.
1919. 198. Notice nécrologique sur Armand Thévenin. *Ibid.*, (4), XIX, p. 129-147.
199. Rapport sur l'attribution du Prix Fontannes à R. Chudeau. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 74-76.
200. Notice sur une carte géologique du Maroc au 2 500 000^e. Paris, E. Larose éd.
201. Sur la genèse des formes de terrain appelées rideaux en pays crayeux. *C. R. Ac. Sc.*, t. CLXIX, p. 145-148.
202. Sur l'origine et les caractères morphologiques des rideaux en pays crayeux. *Ibid.*, t. CLXIX, p. 291.
1920. 203. La chaire de Géographie physique de la Faculté des Sciences de Paris. Leçon d'ouverture du cours de Géographie physique à la Sorbonne. *Rev. scient.*, 6 janv. p. 4-12.
204. Sur un prétendu gisement de phosphate pliocène dans les environs de Rabat (Maroc). *C. R. somm. S. G. F.*, p. 25-26.

205. Offre des brochures sur des « Formes du terrain appelées *rideaux* en pays crayeux ». *Ibid.*, p. 29.
206. A propos des terres fertiles du Maroc occidental. *Ibid.*, p. 35-36.
207. Observations à la communication de M. Pierre Termier sur la tectonique algéro-tunisienne. *Ibid.*, p. 48.
208. Une mission scientifique en Albanie. *La Géographie*, t. XXXIV, n° 1, p. 44-48.
209. Sur le mode de formation des *rideaux* en pays crayeux. *C. R. Ac. Sc.*, t. CLXX, p. 891-893.
210. L'origine et le mode de gisement des pétroles. *Chimie et Industrie*.
211. Sur la structure et les relations tectoniques du Moyen-Atlas et du Haut-Atlas. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 86-88.
212. A propos d'une faune helvétique à Taza (Maroc). *Ibid.*, p. 103.
213. Sur une nouvelle théorie de la formation des atolls. *Ibid.*, p. 207.
214. L'avenir des études géologiques au Maroc. *Bull. Inst. Hautes-Ét. maroc.*, t. I, n° 1, p. 17-32.
215. Une excursion dans le Cantal. *Rev. Haute-Auvergne* (1919-1920), p. 194-208.
1921. 216. A propos d'une note sur le Miocène marin (Sahélien) de l'Ouest algérien. *C. R. somm. S. G. F.*, p. 64.
217. Sur les gisements d'anthracite de Sidna Ioucha (Oran). *Ibid.*, p. 110.
218. A propos des nappes de recouvrement pré-rifaines. *Ibid.*, p. 169.
219. Présentation d'une carte géologique provisoire du Maroc à l'échelle de 1 500 000^e. *C. R. 45^e Congr. A. F. A. S.*, Rouen, p. 453.
220. A propos d'une note de M. Dalloni sur les gisements pétrolifères de l'Afrique du Nord. *Ibid.*, p. 504.
221. Le rôle de la solifluction dans la genèse des *rideaux*. *Ibid.*, p. 1430.
222. Au sujet de la nomenclature en géologie et en géographie, à la suite d'une question posée par M. Kergomard. *Ibid.*, p. 1437.
223. Notice géologique et climatologique sur l'itinéraire de la mission Perrot-Gentil au Maroc. *In* Sur les productions végétales du Maroc. *Trav. Off. nat. Matières premières végétales Maroc*, n° 10, p. 39-58.
224. Le phénomène des *rideaux* et la solifluction. *C. R. Ac. Sc.*, t. CLXXIII, p. 440.
1922. 225. Sur l'âge des phosphates marocains. *Ibid.*, t. CLXXIV, p. 42.
226. Sur la climatologie du Maroc. *Ibid.*, t. CLXXIV, p. 311.
227. Rapport sur le Prix Eugène Potron attribué par la Société de Géographie à M. Jacques Bourcart. *La Géographie*, t. XXXVIII, p. 248.
228. Procès-verbal de la Session extraordinaire de la Société botanique de France, en 1921, au Maroc. *Bull. Soc. bot. France*, t. LXVII.
229. Titres et Travaux scientifiques. Paris, Larose éd.
1923. 230. Aperçu géologique sur la Tunisie centrale. Conférence du 2 mai 1922. Paris, Service géographique de l'Armée, 27 p., 1 pl.
231. Sur les nappes de recouvrement du Nord-Ouest africain. *C. R. Ac. Sc.*, t. CLXXVII, p. 1166-1170.
1924. 232. Voyages d'exploration dans l'Atlas marocain, 1923. Paris, Publ. Comité Afr. franç., 153 p.
233. Les sols du Maroc. Maroc physique. *V^e Comm. intern. Pédologie* : La cartographie des sols.
234. Sur des vestiges de glaciation quaternaire dans la région de Telouet (Haut-Atlas marocain). *C. R. Ac. Sc.*, t. CLXXVIII, p. 31-35.
235. La structure de la Dorsale tunisienne et les grandes zones tectoniques de la Tunisie. *B. S. G. F.*, (4), XXIV, p. 213-232.
236. Sur la structure de la dorsale tunisienne. *C. R. Ac. Sc.*, t. CLXXVIII, p. 2017-2022.

Cartographie.

I. Cartes topographiques.

1907. I. Carte du Sud marocain : le Haut-Atlas et le massif du Siroua à l'échelle du 1 750 000^e. *Ann. Cartographie de Fr. Schrader*.
1908. II. Itinéraires dans le Haut-Atlas marocain à l'échelle du 250 000^e (deux feuilles). *La Géographie*, t. XVII, n° 3, pl. 2.
- III. Esquisse orographique du Maroc à l'échelle du 4 000 000^e. *Ibid.*, t. XVII, n° 3, pl. 2.
1909. IV. Essai sur l'orographie du Maroc. *Rev. Géogr. ann.*, t. III, pl. 1.
- V. Carte topographique au 400 000^e du Haut-Atlas occidental, en une feuille (dressée et dessinée avec la coll. de M. CHESNEAU). Paris.
1912. VI. Le Haut-Atlas occidental. Carte topographique au 400 000^e, 2^e éd. complétée et corrigée. Paris, Ehrard impr.
- VII. Itinéraire entre l'Oued Tensift et Agadir à l'échelle du 600 000^e. *Ann. Cartographie de Fr. Schrader*.
1922. VIII. Carte du Maroc d'après les documents les plus récents. Échelle : 1 500 000^e. Paris, E. Larose éd.

II. Cartes géologiques.

1902. IX. Carte géologique du Bordj de Châaba (Oran) (Carte en couleurs au 50 000^e). Alger.
- X. Carte géologique du volcan de Tifarouine (Oran) (Carte en couleurs au 50 000^e). Alger.
- XI. Carte géologique du bassin de la Tafna (Oran) (Carte en couleurs au 200 000^e). Alger.
1903. XII. Feuille de Beni Saf (Oran) (Carte géologique détaillée de l'Algérie au 50 000^e). Publ. Serv. Carte géol. Alger.
- XIII. Feuille de Miliana (Alger) (*Id.*). Publ. Serv. Carte géol. Alger.
1907. XIV. Esquisse géologique du Haut-Atlas occidental (Carte en noir au 1 000 000^e). *Ann. Géogr.*, t. XVI, n° 85, pl. II.
1908. XV. Essai de carte géologique du massif des Beni Snassen (Carte en noir au 300 000^e). *B. S. G. F.*, (4), VIII, pl. VII.
- XVI. Itinéraire géologique dans le Haut-Atlas

- marocain (Carte en couleurs au 250 000^e en deux feuilles). *La Géographie*, t. XVII, n° 3, pl. II.
1911. XVII. Esquisse géologique du Haut-Atlas occidental (Carte en couleurs au 1 000 000^e). In Ed. SUSS, *La face de la Terre*, t. III, pl. VI.
1912. XVIII. Essai d'une carte géologique du Maroc, d'après les travaux de l'auteur et divers documents (Carte en couleurs au 2 500 000^e). *Ann. Géogr.*, t. XXI, n° 116.
1922. XIX. Carte géologique provisoire du Maroc (Publiée par ordre de M. le Maréchal Lyautey, Résident général de la République française au Maroc, d'après les esquisses de l'auteur et divers documents, 1920). Échelle : 1 500 000^e. Paris, E. Larose éd.

Observations faites en séance par M. Durand Delga¹
à la communication de

MM. A. CAIRE, L. GLANGEAUD et C. GRANDJACQUET

présentée le 18 décembre 1960 et intitulée

Les grands traits structuraux
et l'évolution du territoire calabro-sicilien (Italie méridionale)

B. S. G. F., t. II, 1960, fasc. 7, p. 915-938.

M. DURAND DELGA est très intéressé par les problèmes calabro-siciliens que vient d'évoquer M. Glangeaud dans son exposé.

En tant qu'auteur de la notion de « nappes *ultra* » en Méditerranée occidentale (ultra-kabyles en Algérie ; ultra-rifaines au Maroc, en collaboration avec M. Mattauer ; ultra-bétiques en Andalousie, avec J. Didon), il tient à rappeler que la notion même de nappes *ultra* supposait l'intervention des grands phénomènes suivants :

a) formation, du Tithonique à l'aurore du Miocène, d'un long et profond sillon E-W, à sédimentation « flysch », sur l'emplacement de l'actuelle Méditerranée de Gibraltar au Sud de la Sardaigne ;

b) soulèvement (complexe !) de cette zone au cours du Miocène, et expulsion du matériel flysch vers la périphérie, principalement vers le Sud ;

c) effondrement récent, d'où résulte l'actuel sillon marin.

Cette manière de voir semble partagée, à propos de la zone calabro-sicilienne comme antérieurement à propos de l'Algérie, par M. Glangeaud et par ses collaborateurs.

A propos de la remarque (orale) de M. A. F. de Lapparent, demandant à M. Glangeaud les raisons qui le poussent à admettre la nature « simique » du fond tyrrhénien actuel, M. Durand Delga rappelle qu'au Sud des Cordillères bétiques, avant la naissance du sillon des Flyschs créacés, a existé, sur l'emplacement de l'actuelle Méditerranée, un bassin marin triasique, où se sont accumulés d'épais dépôts carbonatés (Trias moyen et supérieur), faisant eux-mêmes suite à un « socle » de roches plus anciennes. Ce matériel a été expulsé vers le Nord (nappes alpujarrides) et vers le Sud (nappes du Rif interne *p. p.*).

On peut en retrouver l'homologue dans les « Panormides » qui, pour L. Ogniben, formeraient un des éléments charriés inférieurs du NE de la Sicile, sous les nappes de Flysch (Sicilides) récemment cartographiées par cet auteur.

Ces faits semblent indiquer qu'au-dessus du Sima, que M. Glangeaud et ses élèves voient former le fond marin actuel, ont existé des formations anciennes, mésozoïques et nummulitiques, totalisant quelque 5 km d'épaisseur au moins.

Réponse de M. Glangeaud à ce texte qui lui a été communiqué le 28 novembre 1961.

Les phénomènes géodynamiques généraux (*a*, *b*, *c*) évoqués par M. Durand Delga ont été décrits en détail et représentés graphiquement dans mes travaux, de 1951 à 1956, pour l'ensemble du système de la Méditerranée occidentale. Je me réjouis que la région calabro-sicilienne, qui n'a pas été étudiée par notre aimable collègue, ait emporté sa conviction.

Il en a été de même pour la nappe du flysch que j'ai créée en 1926 (*B. S. G. F.*, (4), XXVI, p. 47-60, 3 fig.) et étendue à toute l'Afrique du Nord en 1932 (Thèse Paris, 1932, 617 p., 110 fig., 6 pl.) : en effet, M. Durand Delga, dans la thèse qu'il a présentée en 1955, écrivait : « Il n'y a donc pas de nappes du Flysch dans le Nord constantinois. » Un aussi complet changement d'opinion doit beaucoup aux beaux travaux de MM. Caire, Mattauer et Polvéche, publiés de 1951 à 1955.

Il paraît donc nécessaire, étant donné cette évolution et la complexité du problème, que je donne un bref aperçu des phénomènes généraux (*a*, *b*, *c*) évoqués par M. Durand Delga. En effet, dès 1951 (*L. Glangeaud, B. S. G. F.*, (6), I, 1951, p. 735-762, 4 fig.), nous avons mis en évidence les phénomènes suivants.

Phénomènes a : séparation des trois blocs, européens, africains et mésogéides avec formation de *hiatus* (sillons) entre ces blocs. Je précisais, la même année (*Com. Phys. Earth Int.*, 1951, p. 11-15) que ce phénomène était dû à une distension que j'ai ensuite nommée « *distension triasico-liasique* ». Elle a, en effet, débuté en un certain nombre

1. Ce texte ayant été égaré en cours d'impression, sa publication s'en est trouvée retardée.

de points par une phase d'affaissement progressif à partir du Carnien. Elle s'est prolongée pendant une partie du Lias. Chaque fois qu'on peut les observer réellement (Sanginetto, Gênes, Alpes franco-suisse, etc.), ces hiatus (sillons) ont été remblayés par une série qui, dans l'ensemble, commence par les schistes lustrés et se termine par des flyschs crétacé-éocène. Il existe évidemment de nombreuses variations locales à ce schéma général ; mais il est valable dans son ensemble depuis Gibraltar jusqu'aux Alpes autrichiennes.

D'une façon plus précise, dans la fig. 1 de 1951 et dans les notes ultérieures de 1952 à 1956, j'étendais jusqu'à la Calabre et à la Sicile les unités paléogéographiques et paléotectoniques que j'avais distinguées en Afrique du Nord. Le prolongement des géanticlinaux et sillons bordant au Nord l'Afrique y était figuré explicitement. Je montrais que l'ensemble sicilien devait être rattaché à ce bloc africain, en accord avec une hypothèse d'Argand et je le séparais de l'Apennin par un hiatus, maintenant reconnu. Depuis 1951, MM. Beneo, Castany, Ogniben, Caire et Mattauer ont apporté des documents importants sur les corrélations et les liaisons existant entre l'ensemble calabro-sicilien et l'Afrique du Nord.

Phénomènes b. Les idées émises en 1951 ont été développées en 1952 plus particulièrement pour le mécanisme et l'analyse du soulèvement tectorogène. [*a* : B. S. G. F., (6), II, 1952, p. 619-639, 4 fig. et *b* : C. R. XIX^e Congr. géol. intern. Alger, section XV, fasc. 17, p. 71-111, 5 fig.] et en 1956 [B. S. G. F., (6), VI, 1956, p. 857-891, 4 fig.]. Les exposés de 1952 (*a*, p. 630-634, fig. 4 et *b*, p. 85-91,

fig. 3 et 4) ne laissent place à aucune équivoque. Dans la note *b*, je séparais nettement les phases successives : *ser-rage biliminnaire* d'âge oligocène, *surrection axiale* (tectorogène) d'âge aquitanien et miocène inférieur, *onde de compensation symétrique* d'âge miocène, inférieur et moyen, *glissements de même âge*. J'illustrais notamment cette analyse géodynamique et le rôle du tectorogène complexe, en 1956, par une série de coupe paléotectoniques entre l'Apennin et l'île d'Elbe (fig. 2) et entre le Rif et les Cordillères bétiques (fig. 3).

Phénomènes c. L'effondrement *ponto-plio-quatenaire* de la Méditerranée occidentale et les déformations qui lui sont liées ont aussi été définis et représentés graphiquement dans une série de notes de 1927 à 1956. Je n'insisterai pas sur ces faits. En ce qui concerne les autres remarques de M. Durand Delga, voici quelques brèves réponses :

L'argument tiré des Panormides est aussi sans valeur, puisque ces Panormides comprennent du Secondaire sous un faciès tout différent du Flysch.

Le Trias carbonaté, considéré — avec doute — comme substratum des Flyschs en Espagne et au Maroc, ne se prolongeait pas nécessairement jusqu'au centre de la mer Tyrrhénienne. Nous avons montré la nature océanique et non cratonique de cette mer, avec de nombreux arguments. Pour permettre à nos collègues de pouvoir mieux apprécier les méthodes et les résultats de ces analyses géodynamiques complexes, j'indiquerai qu'un 'mémoire détaillé sur ces questions paraîtra dans le compte rendu du colloque de Villefranche (avril 1961).

ÉDITIONS

du

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

15, quai Anatole-France, Paris 7^e.

SOLferino 93-39 — C. P. Paris 9061-44.

(Extrait du catalogue général.)

Lexique stratigraphique international, publié sous l'égide du Congrès géologique international par les soins du Comité français de Stratigraphie.

Il comprenait initialement six volumes : « Europe », « U. R. S. S. », « Asie », « Afrique », « Amérique latine », « Océanie », il en comptera deux supplémentaires : « Amérique du Nord » et « Termes stratigraphiques majeurs ».

Ensemble comprenant les volumes « Europe », « U. R. S. S. », « Asie », « Afrique », « Amérique latine » et « Océanie »..... 580,00 NF

Vol. « Europe ».....	210,00 NF	Vol. « Afrique ».....	52,50 »
Vol. « U. R. S. S. ».....	75,00 »	Vol. « Amérique latine ».....	87,50 »
Vol. « Asie ».....	87,50 »	Vol. « Océanie ».....	105,00 »

Les fascicules complémentaires « Bornéo » et « Madagascar » ne figurent pas dans la souscription ; les fascicules de chaque volume se vendent séparément, liste et prix sur demande.

Structure géologique de l'U. R. S. S. : ouvrage collectif sous la direction de A. P. MARKOVSKY.

Vol. I : STRATIGRAPHIE.

Fasc. I. Généralités, géomorphologie.	3,00 NF
— II. Précambrien.....	4,50 »
— III. Paléozoïque.....	13,00 »
— IV. Mésozoïque.....	6,00 »
— V. Cénozoïque.....	3,50 »
— VI. Quaternaire.....	3,00 »

Carte géomorphologique de l'U. R. S. S.
au 1 000 000^e..... 2,40 »

Carte géologique en couleurs au
7 500 000^e en deux feuilles sous
pochette qui accompagne le livre. 35,00 NF

Vol. II : MAGMATISME.

Fasc. I. Précambrien.....	5,50 »
— II. Paléozoïque inférieur.....	5,30 »
— III. Paléozoïque supérieur.....	10,00 »
— IV. Mésozoïque et Cénozoïque..	8,00 »

Vol. III : TECTONIQUE (sous presse).

Lexique pétrographique des charbons : publié sous l'égide du Comité international de pétrologie des charbons.

Lexique publié sous forme de cartothèque. Chaque terme fait l'objet d'une fiche individuelle portant : le nom de son auteur et la référence bibliographique correspondante, la liste des synonymes et des termes analogues, la description du constituant pétrographique considéré et ses propriétés, son mode de gisement et son importance pratique ; ensemble présenté sous reliure pellicor à feuillets mobiles, in-8^o coq.

Édition 1957, rédigée en français, allemand ou anglais, chaque édition..... 15,00 NF

BORDET P. — Recherches géologiques dans l'Himalaya du Népal, région du Makalu, avec cartes. 80,00 »
sans cartes. 60,00 »

CHRISTOPHE MICHEL-LÉVY M^{me}. — Tableaux des minéraux des roches..... 12,00 »

TABLE DES MATIÈRES

TOME^{III}, N° 2

	Pages
P. Deleau. — Subsidence différentielle de la plate-forme épicontinentale carbonifère dans le bassin d'Abadla (région de Colomb-Béchar) (2 fig.).....	121
P. Dourthe et O. Serra. — Nouvelles observations sur la série de la Gara Sayada (bordure nord-est de l'Eglab, Sahara occidental) (4 fig.).....	127
M. Lelubre. — Problèmes de la géologie de l'Antécambrien en Ahaggar (Sahara central) (1 fig.).....	133
M. Gravelle. — Les affleurements de « séries intermédiaires » dans la région de Silet (Ahaggar occidental, Sahara central) (1 fig.).....	143
J. Boissonnas et M. Gravelle. — Un massif granitique de l'Ahaggar à mode de gisement hybride : le Tiholiarène (1 fig.).....	152
M. Bouvet et Cl. Reboul. — Le horst suggarien de Timg'aouine (2 fig.).....	156
M. Bouvet et Cl. Reboul. — Évolutions parallèles de séries de rhyolite et d'arkose soumises à l'action d'un métamorphisme topochimique.....	159
Cl. Reboul. — Sur deux petits massifs suggariens présentant certains caractères du faciès In Ouzzal.....	162
P. Giraud. — Les charnockites et les roches associées du Suggarien à faciès In Ouzzal (Sahara algérien) (1 fig.).....	165
M. Bouvet et Cl. Reboul. — Un massif granitique à structures concentriques : Le Tisselliline (1 fig.).....	174
J. Grolier. — Sur le granite orbiculaire de Tisselliline (Hoggar, Sahara central) (2 fig.).....	174
B. Guérangé. — Sur les massifs rhyolitiques pharusiens de la région d'Edambo-Emi Lulu (Ahaggar oriental).....	182
J. Blaise. — Sur la stratigraphie des séries antécambriennes dans la région du Tafassasset moyen (Ahaggar oriental).....	184
J.-P. Destombes et J.-P. Spindler. — Sur la structure de la région d'Akjoujt (Mauritanie) (7 fig.).....	186
Ph. Legrand. — Découverte de <i>Monograptus hercynicus</i> (PERNER) dans les chaînes d'Ougarta (Algérie) (3 fig.).....	201
P. Dubois. — Stratigraphie du Cambro-Ordovicien du Tassili N'ajjer (Sahara central) (2 fig.).....	206
M.-O. Bongrand, R. Dars et J. Sougy. — Sur la présence de galets éoliens dans le complexe de base de l'Adrar mauritanien (4 fig.).....	210
M. Durand Delga. — Paul FALLOT (1889-1960). Sa vie. — Son œuvre (1 portrait).....	217
J. Bourcart. — La vie et l'œuvre de Louis GENTIL (1868-1925) (1 portrait).....	245

La gérante de la Soc. géol. : M. ODIER.